

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки Физика
Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Исследование механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ6 полученного методами литья и селективного лазерного спекания	

УДК 669.295.081:621.746:621.762.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Дин Южунь		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ ИЯТШ	Бордулев Ю.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Ларионова Екатерина Владимировна	к.х.н		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОС3+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
Р2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
Р3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОС3+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
Р5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)
Р7	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также	Требования ФГОС3+ (ПК-3, ПК-4,

	профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	ПК-5)
P8	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
P9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки Физика
Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Лидер А.М.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
150Б42	Дин Южунь

Тема работы:

Исследование механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ6 полученного методами литья и селективного лазерного спекания
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Титановый сплав ВТ6 до и после обработки водородом, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Исследование механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ6 – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант

Социальная ответственность	Ларионова Екатерина Владимировна, доцент Отделение контроля и диагностики
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Наталья Владимировна, доцент Школа инженерного предпринимательства и Отделение социально-гуманитарных наук,
Иностранный язык	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Бордулев Юрий Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Дин Южунь		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б42	Дин Южунь

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих (136299, 43руб)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Районный коэффициент 30%, Отчисления во внебюджетные фонды - 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Черепанова Н. В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Дин Южунь		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б42	Дин Южунь

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>1. При работе на комплексе Gas Reaction Controller LP на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Микроклимат; - ПЭВМ. <p>А также опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Электрическое напряжение; - Воздействие высокой температуры; - Эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением. <p>2. При неисправности в работе комплекса Gas Reaction Controller LP возможна утечка газа, возгорание, поражения электрическим током.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller; - инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В; - инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением. <p>Документы по воздействию ПЭВМ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ; - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы; - ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности; - ГОСТ Р 50949-01. Средства

	<p>отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;</p> <ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. <p>Микроклимат:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>1. Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Воздействие электрического напряжения на организм человека; – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – Утечка газа из баллона; – Микроклимат.
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 В; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе); – термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки); – пожаровзрывобезопасность (баллоны с газом; соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).
<p><i>3. Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу 	<p>3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Выброс в атмосферу рабочего газа; – Выброс в атмосферу химических

<i>(сбросы);</i> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	веществ;
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – Утечка газа из баллона; – Возникновение возгорания; – Поражение оператора установки электрическим током; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	5. Правовые вопросы обеспечения безопасности
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	1. Схема расположения оборудования; 2. План размещения светильников на потолке рабочего помещения.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ТПУ	Ларионова Е. В.	К.Х.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Дин Южунь		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2017	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2017	Исследование механических характеристик образцов титана ВТ6	15
30.12.2017	Исследование сорбционных характеристик образцов титана ВТ6	20
30.04.2018	Анализ результатов	15
23.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15
25.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ ИЯТШ	Бордулев Ю.С.			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ ИЯТШ	Лидер А.М.	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страницы, 18 рисунков, 3 таблицы, 40 литературных источников, 0 приложений.

Ключевые слова: титановый сплав, твердость титанового сплава ВТ6, взаимодействие водорода с титаном, наводороживание.

Объектом исследований являлся титановый сплав ВТ6, изготовленный литьем и методом селективного лазерного спекания. С помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP было определено влияние накопления водорода на твердость титанового сплава ВТ6, изготовленного методом литья и селективного лазерного сплавления. Также было проведено сравнительное исследование сорбционных характеристик указанных сплавов.

Целью работы является исследование механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ6, полученного методами литья и селективного лазерного спекания

В первой главе представлен теоретический обзор на тему особенностей изготовления изделий методами аддитивных технологий, а также вопросы взаимодействия водорода с титановыми сплавами.

Во второй главе описаны метод Виккерса и принцип работы автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller, а также подробно описан процесс подготовки исследуемого материала.

В третьей главе представлены результаты исследования механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ6, полученных методами литья и селективного лазерного спекания

В четвертой главе описан финансовый менеджмент, , ресурсоэффективность и ресурсосбережение выполненной работы.

В пятой главе описана социальная ответственность проделанного эксперимента.

Выбранный сплав применяется в следующих областях: авиакосмическая промышленность, машиностроение, строительство, инженерная отрасль. Селективное лазерное спекание используется при изготовлении функциональных прототипов, продукции мелкосерийного производства, моделей для точного литья по выплавляемым моделям, шлангов труб, прокладок, изоляционных шайб, деталей силовых установок, других элементов в инженерии и строительстве.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	15
Глава I. Литературный обзор	18
1.1 Особенности изготовления изделий из титановых сплавов методами аддитивных технологии	18
1.2 Физические основы метода селективного лазерного спекания	26
1.3 Проницаемость водорода через металлы.	30
1.4 Проблема водородного охрупчивания титановых сплавов	35
Глава II. Материал и методы исследования	40
2.1 Материал исследования	40
2.2 Насыщение водородом из газовой среды при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP	40
2.3 Метод Виккерса	44
Глава III. Результаты эксперимента	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
4.1.2 Технология QuaD	55
4.2 Планирование этапов и выполнение работ по НИОКР	57
4.2.1 Планирование этапов работ	57
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИОКР	58
4.2.3 Построение графика работ	60
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	62
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	62
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	63

4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	64
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	66
4.3.5 Накладные расходы	67
4.3.6 Формирование бюджет затрат НТИ.....	68
Вывод	68
ГЛАВА 5. Социальная ответственность.....	69
5.1 Техногенная безопасность	69
5.2 Анализ вредных и опасных факторов.....	71
5.2.1 Электромагнитные поля.....	71
5.2.2 Шум.....	72
5.2.3 Освещение	73
5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	74
5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	75
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
5.6 Расчет воздухообмена в жилых и общественных помещениях	80
Вывод	81
Список использованных источников	82

ВВЕДЕНИЕ

Метод селективного лазерного спекания (Selective laser sintering - SLS) был разработан и запатентован доктором Карлом Декардом (Carl Decard) и его научным руководителем, доктором Джо Биманом (John Beaman) в Университете штата Техас в Остине в середине 1980 годов под руководством DARPA (Агентства передовых оборонных исследовательских проектов). Декард и Биман были вовлечены в процесс производства первых машин по 3D печати в компании DTM (США). Эта компания была создана для разработки и создания машин SLS. В 2001 году компания 3D Systems (США), которая являлась крупнейшим конкурентом компании DTM, приобрела компанию DTM. Самый последний патент в области технологии SLS Декарда был выдан 28 января 1997 года и истек 28 января 2014 г. Аналогичный процесс был запатентован без коммерциализации R.F. Housholder в 1979 г [1-22].

Технологии SLS нашли широкое применение для изготовления деталей силовых установок, в авиастроении, в машиностроении, в космонавтике, для производства предметов искусства и дизайна [21, 22]. Эта технология имеет много преимуществ, такие как осуществление производства модели непосредственно с цифровых файлов (цифровое производство), любые отклонения можно легко исправить и применить исправления к следующему изделию [23,24], сохранение свойств и структуры даже при очень высоких температурах.

Метод селективного лазерного спекания (SLS) относится к аддитивным методам, который использует лазер в качестве источника питания для спекания порошкового материала (обычно металл), автоматически направляя лазер в точки в пространстве, определенные по 3D-модели. SLS включает в себя использование лазера высокой мощности, например, лазер на диоксиде углерода, чтобы спекать мелкие частицы порошков пластмассы, металла, керамики или стекла в массу, которая имеет нужную трехмерную форму [25, 26]. Технологический процесс состоит из двух этапов: вначале ровный тонкий слой порошка равномерно размещается по всей рабочей площадке, после чего

посредством лазера запекаются области, которые соответствуют срезу формируемого объекта. Затем модель опускается вниз на расстояние, равное толщине слоя, и алгоритм повторяется, пока процесс не дойдет до самой верхней точки модели.

По сравнению с другими методами аддитивного производства, с помощью метода SLS можно изготавливать детали из относительно широкого диапазона коммерчески доступных порошкообразных материалов. К ним относятся полимеры, такие как нейлон (чистый, стеклонаполненный, или с другими наполнителями) и полистирол [26], металлы, включая сталь, титан, смеси сплавов, композиционные материалы [27].

Титан обладает высокой прочностью, низкой плотностью, высокой коррозионной стойкостью. Сплавы титана часто используются в различных областях и могут быть изготовлены как многочисленными стандартными методами, так и методами аддитивных технологий, такими как селективное лазерное спекание, электроннолучевая плавка, селективное лазерное сплавление.

В процессе производства, а также эксплуатации титановых сплавов в них происходит проникновение и накопление водорода. В литературе имеется большое число работ, посвященных проблеме водородного охрупчивания титановых сплавов, полученных стандартными методами. Однако, совершенно отсутствует какая-либо информация о взаимодействии водорода с титановыми сплавами, полученными методами аддитивных технологий.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния наводороживания на структуру и твердость титанового сплава ВТ6, изготовленного методом селективного лазерного спекания.

Для решения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Исследовать структуру и свойства титанового сплава, изготовленного методом селективного лазерного спекания из порошка ВТ6.
2. Исследовать процессы сорбции водорода титановым сплавом, полученным методом селективного лазерного спекания.

3. Исследовать влияние наводороживания на твердость титанового сплава ВТ6, изготовленного методом селективного лазерного спекания.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые были получены и описаны результаты о взаимодействии водорода с титановыми сплавами, полученными методами аддитивных технологий.

Глава I. Литературный обзор

1.1 Особенности изготовления изделий из титановых сплавов методами аддитивных технологии

В настоящее время проводится множество исследований, касаемых использования аддитивных технологий (АТ), таких как электронно-лучевая плавка (EBM), метод прямого лазерного спекания металлов (DMLS), селективное лазерное спекание (SLS), в производстве титана, который в дальнейшем используется в аэрокосмической промышленности и медицине. Помимо этого, данные технологии изготовления титана могут применяться в химической, оборонной и других отраслях промышленности. Стандартные методы, например литьё, чаще всего пригодны для изготовления больших и простых изделий (листы, трубы и т.д.), в то время как технологии 3D-печати могут быть использованы для формирования небольших деталей сложной геометрической формы с различными полостями, отверстиями и т.д.

При изготовлении больших изделий методами АТ происходит передача большого количества энергии за один цикл, в то время как для получения небольших изделий высокого качества размер лазерного/электронного пучка существенно ниже. В обоих случаях поверхность практически всех изделий должна быть высокого качества. Благодаря возможности добавления металла на уже существующие изделия, данные методы могут применяться для создания поверхностных защитных покрытий, модифицирования поверхности изделий, ремонта поврежденных деталей и добавления новых функций к уже существующим деталям [21]. Также малый размер пучка и небольшая толщина слоя в АТ позволяют формировать сложные геометрические формы с высокой точностью.

На данный момент порошковые методы имеют широкое применение по сравнению с методами, использующими в качестве расходного материала проволоку, в связи с тем, что позволяют производить изделия с заданной геометрической точностью. Кроме того, способы, использующие

металлический порошок, дают возможность производить изделия, обладающие свойствами, которые присущи изделиям порошковой металлургии. Однако, производительность порошковых методов АТ очень низкая, исчисляется десятками грамм в минуту, что ограничивает возможность их применения для изготовления крупногабаритных изделий. К тому же необходимость защитной камеры, особенности транспортировки и хранения металлических порошковых материалов также накладывают определенные сложности на применение данных методов.

Рассмотрим подробнее некоторые методы АТ и их особенности.

Метод LENS (Laser Engineered Net Shaping; лазерное порошковое формование) и подобные ему методы, использующие принцип наплавки металлического порошка, подаваемого в струе защитного газа в область действия лазерного луча, хотя и не требуют для проведения наплавки защитной камеры, тем не менее из-за рассыпания порошка требуют изоляции рабочей площадки и индивидуальной защиты обслуживающего персонала [9,10].

WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) – это метод аддитивного производства, использующий дуговую сварку для сплавления металлической проволоки. Проволока послойно укладывается роботизированным манипулятором в соответствии с 3D-моделью, в результате чего получается высокоточная заготовка, которая затем подвергается механообработке на станке с числовым программным управлением. Этот метод широко используется в судостроении, машиностроении и других отраслях для ремонта износившихся крупногабаритных деталей [8].

Электронно-лучевая плавка (EBF) - новый метод АТ, разработанный исследовательским центром NASA в Лэнгли под руководством Карен Тамингер. Технология EBF нацелена на аддитивное производство комплексных моделей с пониженным по сравнению с традиционными методами расходом материалов и практически отсутствием необходимости механической обработки. Разработка технологии ведется на протяжении более чем десяти лет в сотрудничестве с другими исследовательскими центрами NASA (JSC, GRC, GSFC и MSFC),

федеральными агентствами и частной аэрокосмической промышленностью США. NASA надеется использовать EBF для производства металлических деталей в условиях отсутствия гравитации. Данный метод использует электронные пучки высокой мощности для последовательного наплавления материалов, изготовленных в форме металлической проволоки. Технологические особенности электронно-лучевой плавки, наряду с экологичностью и эффективностью, делают процесс привлекательным для использования в космосе.

В таблице 1 представлены технологические характеристики некоторых методов АТ.

Таблица 1 – Технологические характеристики некоторых методов АТ [6]

Используемый материал	Сокращенное название способа	Высота наносимого слоя, мкм	Скорость наплавки, г/мин	Точность исполнения, мм	Шероховатость поверхности, мкм
порошок	LC*	–	1...30	$\pm 0,025$ – $\pm 0,069$	1...2
	SLM	20...100		$\pm 0,04$	9...10
	SLS	75	~0,1	$\pm 0,05$	14...16
	DLF*	200	10	$\pm 0,13$	~20
проволока	WAAM	~1500	12	$\pm 0,2$	200
	EBF	–	до 330	низкая	высокая
* LC – Laser Consolidation (лазерное соединение) и DLF – Direct Light Fabrication (прямое лазерное изготовление) являются разновидностями способа LENS.					

Методы АТ, использующие в качестве расходного материала проволоку, по сравнению с порошковыми обладают 100% эффективностью использования материала, а также значительно большей производительностью, что оправдывает их применение для создания крупногабаритных изделий.

Несмотря на низкую точность и грубую поверхность, способы, использующие в качестве расходного материала проволоку, дают

возможность производить заготовки деталей со значительной экономией материала на последующих стадиях обработки (рисунок 1).

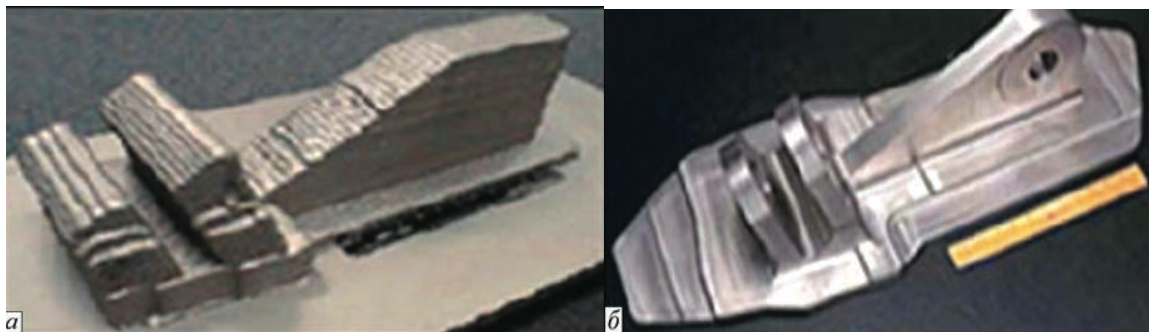


Рисунок 1 – Заготовка (а) детали (б) выполненная способом WFLB (лазерная наплавка проволоки) [6]

При исследовании металлических изделий, выполненных методами АТ с использованием проволоки и порошка [9], отмечена схожесть микроструктуры образцов. Хотя при использовании порошков наблюдается пористая структура.

В процессах аддитивного производства, основанных на использовании порошков, детали изготавливаются слой за слоем путем плавления металлического порошка под воздействием электронного или лазерного луча. Эти процессы, как и всё в АТ, начинаются с создания трехмерной модели автоматизированного проектирования (CAD), которая создаётся в CAD-системе или формируется из инструментов обратной инженерии, таких как 3D-сканеры или компьютерная томография. Хотя все процессы аддитивного производства изделий имеют один и тот же подход, каждый процесс имеет свои специфические характеристики в терминах пригодных материалов, процедур обработки и применимых ситуации. В области биомедицины АТ широко используются. Область применения включает в себя формирование ткани и органов, изготовление и создание индивидуального протезирования, имплантатов, а также анатомических моделей.

Использование АТ с применением металлических порошков, такие как слияние пласта с использованием лазерного порошка (LPBF), также известный как SLM и EBM; и методы DED (Directed Energy Deposition; направленное энергетическое осаждение), такие как LMD (Laser Metal Deposition; лазерное

осаждение металла), все чаще используются в биомедицинских применениях. В таблице 2 показаны некоторые характеристики порошковых АТ, свойства материала и изделий, используемых и получаемых при помощи данных технологий.

Таблица 2 – Характеристики порошковых АТ, свойства материала и изделий, используемых и получаемых при помощи данных технологий [3]

Характеристика метода	Селективное лазерное спекание	Электронно-лучевое плавление	Лазерное осаждение металла
Размер луча (мкм)	50-500	140-250	2000-4000
Толщина слоя (мкм)	15-150	50-200	300-1000
Шероховатость поверхности (мкм)	R _a :6-23; R _z :35-153	R _a :20-45; R _z :148-174	R _a :20-50; R _z :150-300
Минимальная толщина стенки (мм)	0,3	0,6	0,9
Структурная сложность	Высокая	Высокая	Ограниченное
Скорость сборки	Низкая	Низкая	Высокая
Остаточный стресс	Высокий	Минимальный	Высокий
Термическая обработка	Требуется снятие теплового напряжения Т	Устранение теплового напряжения не обязательно	Требуется снятие теплового напряжения
Размер частиц порошка (мкм)	15-45	45-105	45-90

Метод селективного лазерного плавления SLM порошкового слоя — это процесс, который использует энергию лазерного луча, как правило, иттербиевый волоконный лазер, мощность которого может достигать 1 кВт, для создания трехмерных металлических деталей путем слияния металлических порошков. Слой металлического порошка поставляется к «строительной» платформе лезвием, а лазер пучок расплавляет порошок в соответствии с 2-D

поперечным сечением в контролируемой инертной среде. Затем «строительная платформа» снижается, и наносится новый слой. Процесс повторяется пока высота детали не достигнет заданной величины. Толщина слоя может варьироваться от 15 до 150 мкм. Фокусировка луча контролируется гальванометром, а движение пучка - с помощью линзы F-тета-объектив.

По сравнению с литыми и коваными деталями, изделие, сформированное методом SLM, будет иметь превосходные механические свойства благодаря характеристикам утончения зерна, хорошей растворимости, химической однородности и снижению фазовой сегрегации (касается количества и размера). Однако, из-за конвекции Марангони, область расплава может быть нестабильной, что препятствует контролю микроструктуры.

Основными параметрами данного процесса формирования являются мощность лазера, скорость сканирования и межстрочный интервал сканирования. Всё это напрямую влияет на плавление металлического порошка. Поэтому перечисленные параметры необходимо тщательно контролировать для того, чтобы получить высококачественное изделие, например, биомедицинские устройства [2].

EBM или электронно-порошковое плавление. Данный метод был изобретён и запатентован Arcam AB (Швеция). В этом случае металлический порошок плавится посредством воздействия на него электронного пучка. Технология получения каждого слоя включает в себя следующие этапы: распределение порошка, предварительный нагрев и спекание с использованием сильно расфокусированного луча, который дает механическую стабильность и электропроводность к порошкообразному слою, плавлению с использованием сфокусированного пучка, и опускание платформы сборки толщиной 1 слой, которая может варьироваться от 50 до 200 мкм. Процесс EBM реализуется в вакууме (остаточное давление около 1×10^{-5} мбар) и при высоких температурах (для определенного материала своя температура), что позволяет формировать изделия с повышенным напряжением, с микроструктурой, свободной от мартенситных структур. По этим причинам микроструктура изделий,

изготовленных методом EBM намного лучше, чем при использовании метода литья.

В процессе плавления в методе EBM вводится парциальное давление He до 2×10^{-3} мбар. Таким образом, этот процесс подходит для материалов с высоким сродством к кислороду, таким как титановые сплавы. Минусом данной технологии является то, что не всегда достигается необходимая микроструктура [3].

LMD — это процесс, в который металлический порошок вводится в сфокусированный пучок мощного лазера под жестким контролем атмосферных условия. Сфокусированные лазерные пучки расплавляют порошок и генерируют небольшой расплавленный бассейн в основном материале. Заготовка перемещается в направлении ху с помощью компьютера и системы привода под зоной взаимодействия пучка/порошка для формирования желаемой геометрии поперечного сечения [4]. Этот процесс может быть использован для производства новых деталей, для создания новых конструкций на существующих старых компонентах и ремонта существующих деталей [5,6]. Данный процесс (LMD) включает в себя следующие параметры обработки: мощность лазера, скорость сканирования, скорость поступления (потока) порошка и потока защитного газа. Скорость сильно влияет на свойства формируемых изделий, на такие как высота осаждения, ширина и чистота поверхности, металлургические и механические свойства. LMD используется для производства структур с градуированной пористостью и/или композиций, из разных биоматериалов, включая титан, нержавеющую сталь и сплавы с памятью формы [7].

Прочностные свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методами аддитивных технологий не уступают, а в некоторых случаях и превосходят характеристики литого материала [3]. При этом при лазерных процессах, таких как MDM (прямое осаждение металла), LENS и DMLS (прямое лазерное спекание металла), изделия обладают меньшей пластичностью, потому что происходит формирование мартенситной фазы.

Однако вязкость может быть улучшена через последующую процедуру горячего изостатического прессования и/или операции термообработки. В результате снижается остаточное напряжение. Сплав титана Ti-6Al-4V полученный методом EBM обладает большей пластичностью по сравнению со сплавом, полученным методом SLS, усталостные свойства были протестированы с использованием многих различных циклов.

1.2 Физические основы метода селективного лазерного спекания

Метод селективного лазерного спекания (SLS) – это способ для избирательного спекания слоя порошка для получения изделия, состоящего из множества спекенных слоев. Устройство включает в себя компьютер, управляемый лазер, чтобы направить энергию лазера на порошок для получения спекенного материала. Компьютер по заранее запрограммированному маршруту спекает порошок с границами внутри каждого поперечного сечения изделия. Для каждого поперечного сечения лазерный луч спекает в агломерат только порошок в границах поперечного сечения. Порошок постоянно наносится, и последовательные слои спекаются до тех пор, пока завершенная часть не сформируется. Предпочтительно, чтобы порошок оседал в целевую область лазера и достигал высокой объемной плотности в процессе спекания.

SLS зачастую ошибочно принимают за схожий процесс, называемый выборочной лазерной плавкой (SLM). Разница заключается в том, что SLS обеспечивает лишь частичную плавку, необходимую для спекания материала, в то время как выборочная лазерная плавка подразумевает полную плавку, необходимую для построения монолитных изделий. На рисунке 2 показана схема устройства SLS.

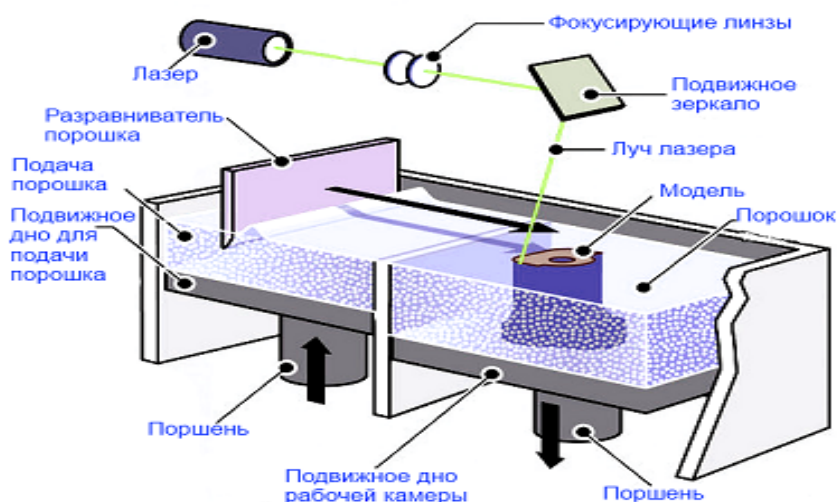


Рисунок 2 – SLS оборудование [10]

SLS включает в себя использование лазера высокой мощности (например, лазер на диоксиде углерода), чтобы плавить мелкие частицы из пластмассы, металла, керамики или стекла в массу, которая имеет нужную трехмерную форму. Лазер выборочно спекает части порошкообразного материала путем сканирования поперечных сечений, сгенерированные из 3-D модели (например, из файла CAD или данных сканирования) на поверхности слоя порошка.

Технологический процесс состоит из двух этапов: вначале ровный тонкий слой порошка равномерно размещается по всей рабочей площадке, после чего включается лазер и запекает области, которые соответствуют срезу воображаемого объекта. Затем модель опускается вниз на расстояние, равное толщине слоя, и алгоритм повторяется, пока процесс не дойдет до самой верхней точки модели [15].

На каждом этапе SLS-печати можно выбирать, как лучше действовать. Порошок может распыляться или наноситься валиком. Запекание может проводиться только на участке, который соответствует границе перехода, или по всей глубине модели. Кроме того, само запекание может варьироваться по силе, температуре и длительности [14-16]. На рисунке 3 показан принцип функционирования 3D-печати по методу лазерного спекания.

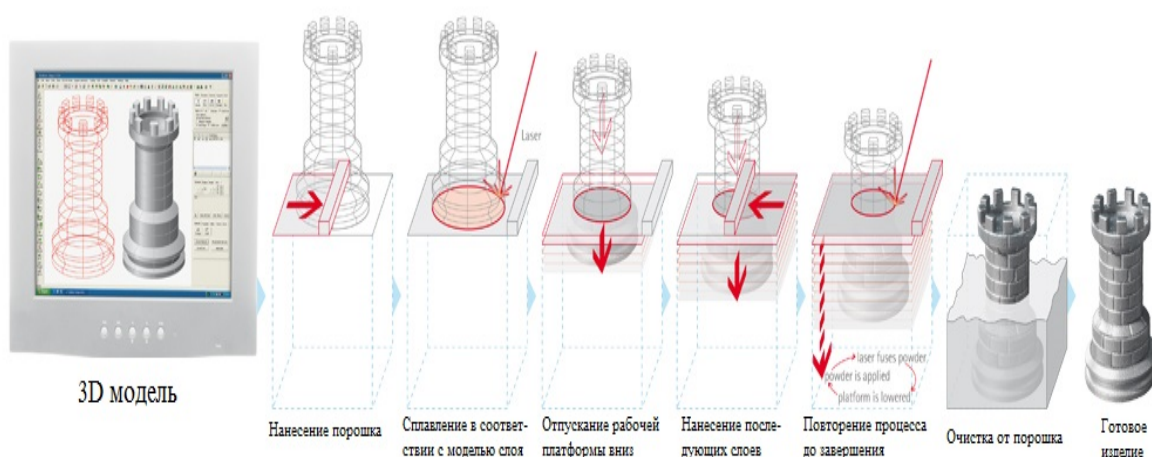


Рисунок 3 – Принцип функционирования 3D-печати по методу лазерного спекания [24]

Титановые сплавы имеют ряд преимуществ перед другими конструкционными материалами. Такие как жаропрочность, высокая коррозионная стойкость и удельная прочность. В связи с этим титановые сплавы получили перспективы применения в таких областях машиностроения, где требуется высокая коррозионная стойкость в сочетании с жаропрочностью и высокой удельной прочностью [10]. В первую очередь это относится к ракетно- и авиастроению, судостроению, пищевому и химическому машиностроению [11–13].

Титановые сплавы BT6 (Ti-6Al-4V) являются наиболее используемыми в России и за рубежом. Титановый сплав Ti-6Al-4V чаще всего используется для изготовления сборных и сварных конструкций разного размера для летательных аппаратов. Конструкции, выполненные из сплава Ti-6Al-4V могут работать при высоком внутреннем давлении и в широком интервале температур от 190 до 450 °C сохраняя свои механические свойства [14].

Широкое распространение сплав получил благодаря удачному легированию. Алюминий, входящий в состав данного сплава, повышает прочность и жаропрочность. Ванадий, в свою очередь, повышает не только прочность, но и пластичность материала [15].

Изделия из титанового сплава производятся особым способом с использованием 3D-печати. Металл, преобразованный в порошок, обрабатывают методом электронно-лучевой плавки (Electron Beam Melting – EBM). Это современная технология, которая позволяет создавать слой толщиной 0,13 – 0,20 мм. Сплавка происходит в специальной вакуумной камере с помощью электронных излучателей, которые выступают источниками энергии в процессе плавки титана. В вакуумной камере образуются последовательные слои из титана до тех пор, пока не будет достигнут нужный размер и заданная форма изделия [21].

3D-печать из металла подразумевает технологию, связанную с использованием металлического порошка нужного сплава. Мы имеем дело либо с методом прямого лазерного спекания металлов (Direct Metal Laser

Sintering – DMLS), либо с методом выборочного лазерного спекания (Selective Laser Sintering – SLS) [20–21]. Данные методики не имеют существенных различий, а расхождение в названиях связано с «патентными войнами».

Как можно наблюдать из рисунка 4 каждый слой представляет собой порошок, обрабатываемый лазером в нужной изготовителю области, для получения необходимых геометрических форм.

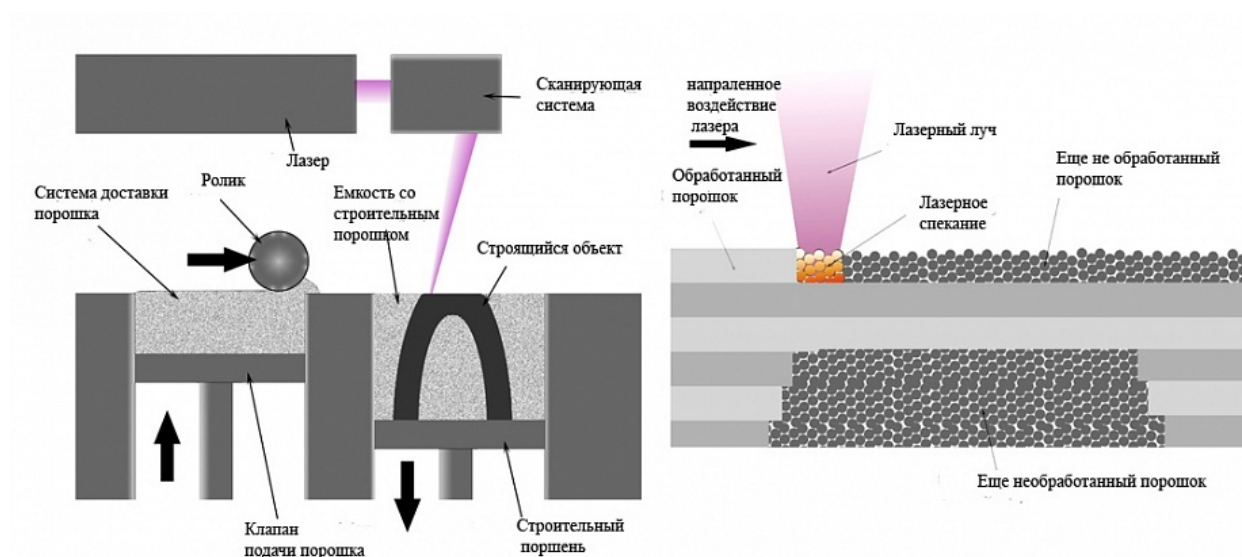


Рисунок 4. Схематическое изображение процесса 3D печати

В связи с этим использование 3D-печати приводит к тому, что изделия, полученные с использованием данного метода, могут иметь более сложную конструкцию [23-24]. Еще одним преимуществом 3D-печати является экономичность использования порошкового материала, а не отработанный металлический порошок можно использовать, не подвергая дополнительной обработке.

В данной работе метод селективного лазерного спекания будет применен для изготовления изделий из титана ВТ6 (Ti-6Al-4V). Поскольку, изделия из данного сплава в процессе эксплуатации подвергаются водородному воздействию, ниже представлены разделы, описывающие влияние водорода на свойства металлических изделий.

1.3 Проницаемость водорода через металлы.

Одной из особенностей диффузии водорода в металлах является её высокая скорость. Это связано с небольшим атомарным объемом водорода. На поверхности металлов водород диссоциирует, и перемещается по междоузлиям кристаллической решетки металлов в виде отдельных атомов. Для перехода от одного междоузлия к другому водороду необходимо преодолеть потенциальный барьер, равный 0,1 – 1 эВ. Собственной энергии частицы обычно недостаточно для преодоления данного энергетического барьера, поэтому переход по междоузлиям происходит при передаче атому водорода энергии от соседних атомов металла [16]. Исходя из этого коэффициент диффузии подчиняется закону Аррениуса:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (1)$$

На рисунке 5 представлен простейший механизм движения водорода по кристаллической решетке металла.

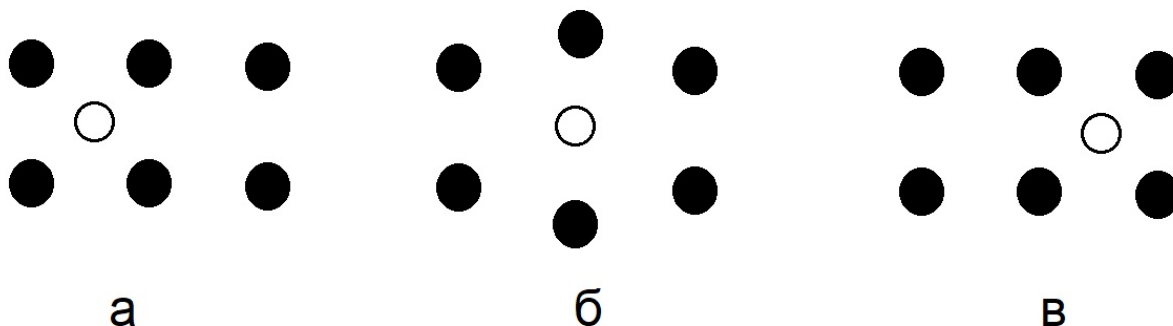


Рисунок 5. Схематическое представление положения водорода внутри металла при переходе в соседнее междоузлие: а, в – атом водорода находится в равновесном состоянии; б – атом водорода расположен между соседними междоузлиями

В случае если концентрация водорода при диффузии равномерно распределена по всему объему металла, переход по междоузлиям будет уравновешен, и результирующий поток будет равен нулю. В противном случае образуется поток в определенном направлении:

$$j_d = j_{12} - j_{21} = \frac{c_1 - c_2}{2} \cdot D_0 \cdot \lambda \cdot \exp\left(-\frac{E_d}{kT}\right), \quad (2)$$

$$\frac{c_1 - c_2}{\lambda} = -\frac{dc}{dx}, \quad (3)$$

$$J_d = -D \frac{dc}{dx}. \quad (4)$$

Выражение (4) является законом Фика для диффузионного потока. Данное выражение не является идеальным по причине того, что не учитывает воздействие градиента температуры на движение атомов, которое влияет на окончательное выражение диффузионного потока.

Так же на диффузионный поток влияет состояние поверхности исследуемого материала. Исходя из этого, каждый исследуемый образец подвергается тщательной обработке поверхности. Но полностью исключить поверхностные дефекты исследуемого образца невозможно. Поэтому при математическом описании проницаемости следует учитывать граничные условия соотносящиеся с процессами адсорбции и десорбции [26–30].

Еще одним важным фактором при исследовании проницаемости являются различного рода дефекты, находящиеся в объеме исследуемого образца.

Так как кристаллическая решетка металла не может быть идеальной и имеет в объеме дефекты кристаллической структуры, которые затрудняют переход водорода от одного равновесного состояния в другое. Такими дефектами могут быть дислокации, вакансии, границы зерен, а также различные скопления атомов кристаллической решетки. Если дефектом являются различного рода поры, то водород в них также может накапливаться в виде газа. Дефекты традиционно рассматриваются как центры захвата диффундирующих атомов, что приводит к замедлению прохождения этих атомов сквозь образовавшуюся перегородку в следствии их накопления в дефектах. Это обусловлено тем, что атомы водорода находясь около дефектов имеют потенциальную энергию ниже чем в междоузельном положении.

Примеры некоторых дефектов представлены на рисунках 6, 7.

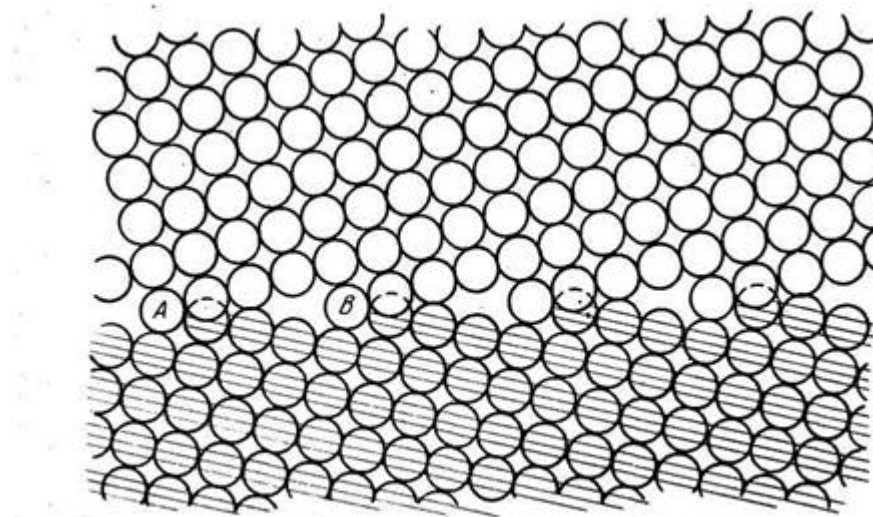


Рисунок 6. Пустоты в кристаллической структуре на границах зерен.

А и В – узлы совпадения на границе

Как можно увидеть на рисунке 3 при малых атомарных объемах диффундирующих атомов возможно их накопление в данных пустотах.

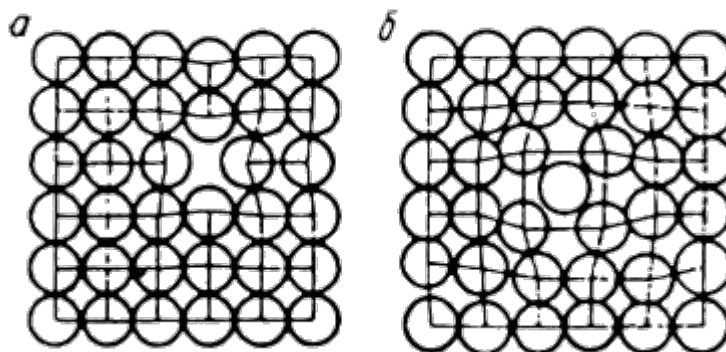


Рисунок 7. Точечные дефекты кристаллической решетки: а – вакансия;

б – междоузельный атом

Для определения концентрации водорода в дефектах можно использовать два уравнения:

$$\frac{dc_t}{dt} = 4\pi RD \left((n_t - c_t) \cdot c - c_t n_q \right), \quad (5)$$

где c – концентрация свободного водорода в междоузлиях;

c_t – концентрация водорода в дефектах;

$n_t = z \cdot n_a$ – концентрация дефектов в металле;

z – доля дефектов по отношению к концентрации атомов металла n_a ;

R – радиус захвата водорода в дефект.

$$n_q = \mu \cdot n_a \exp \left(-\frac{E_b}{kT} \right). \quad (6)$$

Наряду с дефектами кристаллической структуры металла в объеме исследуемых образцов могут находиться поры, имеющие технологический характер, и образованные, например, в результате радиационного воздействия или в процессе сварки материала. Наличие таких пор оказывает влияние на проходимость водорода через металлы. Атомы водорода попав на поверхность поры взаимодействуют друг с другом и образуют атомарный газ. Количество газа будет определяться двумя потоками: абсорбции из поры внутрь металла и десорбции из металла в объем поры.

Концентрация водорода в поре прямо пропорциональна давлению и обратно пропорциональна температуре. Вычислить концентрацию водорода в порах можно используя следующую формулу:

$$n = \frac{p}{kT} \quad (12)$$

На рисунке 8 представлено наглядное изображение пористости в металлах.

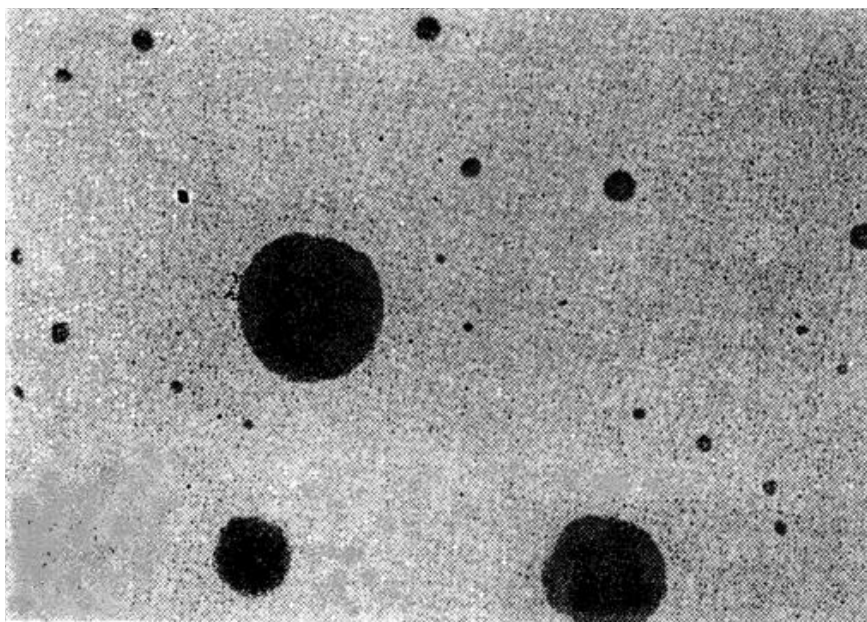


Рисунок 8. Пористость металлической мембраны.

Титановые сплавы обладают низким модулем упругости и большим сопротивлением деформации, поэтому обработка титановых сплавов затруднена [12]. В течение долгого времени люди думали, что водород будет только отрицательно влиять на титановый сплав.

В 1950-е годы Цвиккер и Шлейхер, западногерманские исследователи обнаружили, что тепловая деформация слитка из гидрированного титанового сплава может быть улучшена путем горячего прессования. В последние годы разрабатываются новые технологии с использованием гидрированного титанового сплава – технологии обработки титановых сплавов водородом. В титановом сплаве с водородом сопротивление термической деформации титанового сплава уменьшается, что упрощает обработку титанового сплава [17].

Водород – очень чувствительный химический элемент, он легко вступает в реакцию с металлом [15]. Предыдущие исследования показали, что накопление водорода приводит к проблеме водородного охрупчивания и индуцированного водородом замедленного растрескивания и других повреждений. Таким образом, водород всегда считался вредным элементом в титановом сплаве, характеристики которого крайне неблагоприятны, необходимо строго контролировать содержание водорода в сплаве.

Титан – легкий серебристо-белый металл. Как правило, исходным материалом для производства титана и его соединений служит диоксид титана со сравнительно небольшим количеством примесей [20]. Характер циркония похож с характером титана. На воздухе и титановый и циркониевый порошки способны к самовозгоранию и взрыву. У титана высокая вязкость, поэтому непосредственное получение порошка титана стандартными методами весьма затруднено [21]. Обратимое гидрирование наиболее подходит для получения порошка титана. При определенных условиях титан может поглощать водород. Твёрдость и вязкость продуктов взаимодействия меньше, чем твердость и вязкость титана, что позволяет легко растирать в порошок. Затем водород удаляется при высоких температурах и в вакууме и получается порошок титана.

Накопление водорода в титане кроме выше описанных процессов приводит к формированию гидридов и охрупчиванию вплоть до разрушения по механизму замедленного гидридного растрескивания [22]. Формула гидрида титана TiH_2 . Титан имеет две аллотропные модификации (рисунок 9): при

температуре ниже 882,5 °С α -Ti с ГПУ решеткой, при температуре выше 882,5 °С β -Ti с кубической решеткой. Постоянные решетки для α -Ti рассчитанные теоретически: $a = 0,29506$ нм, $c = 0,46788$ нм, экспериментально при 20 °С: $a = 0,29511$ нм, $c = 0,46843$ нм; для β -Ti при 900 °С эксперимента измеряли постоянные решетки: $a = 0,33065$ нм, постоянная решетки экстраполирована до 20 °С: $a = 0,3282$ нм. В α -Ti и β -Ti имеются октаэдрические (О) и тетраэдрические (Т) междоузлия.

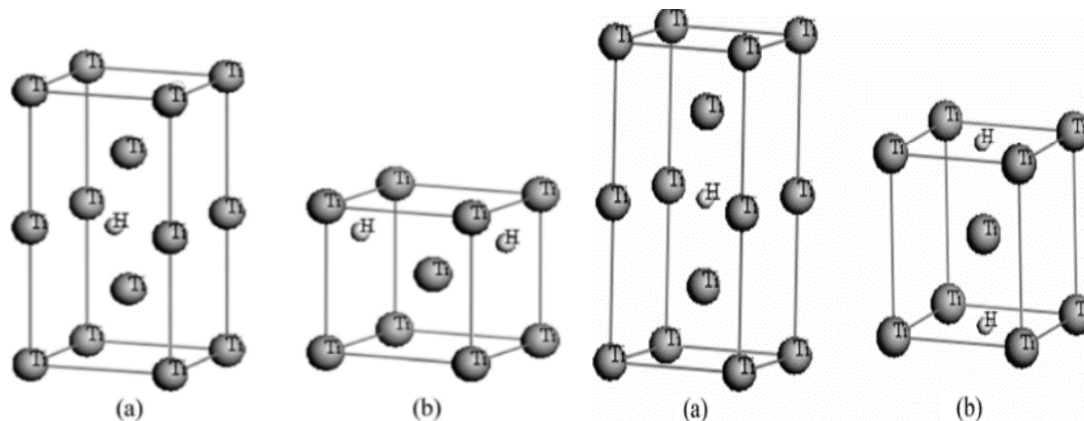


Рисунок 9 – Четыре фазы системы Ti-H а) с мольным отношением α (слево) и β (справа) Ti : H - 4 : 1 ; б) мольным отношением Ti : H - 2 : 1

1.4 Проблема водородного охрупчивания титановых сплавов

Водород может иметь два основных разрушающего воздействия на материалы. Это низкотемпературный эффект, например, когда он хранится в жидком виде, он может оказывать косвенное воздействие называемое "холодная хрупкость". Этот эффект не является специфическим для водорода и может происходить со всеми криогенными газами, если рабочая температура ниже вязко-хрупкого перехода температуры.

Криогенные температуры могут влиять на конструкционные материалы. При понижении температуры происходит уменьшение ударной вязкости, что очень незначительно для ГЦК материалов, но может быть очень заметным в ОЦК, таких как ферритные стали. Металлы, которые успешно работают при низких температурах: алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы, никель и

некоторые из его сплавов, а также устойчивые аустенитные нержавеющие стали [31].

Водород может оказывать непосредственное воздействие на материал, ухудшая его механические свойства, этот эффект называется "водородное охрупчивание". Влияние водорода на поведение материала существенным образом зависит от его физических свойств. Водород может ухудшить механические свойства металлических материалов и привести их к разрушению или выходу из строя.

Водородное охрупчивание влияет на три основные системы любой отрасли, которая использует водород: производство, транспортировка, хранение и использование.

Когда растягивающие напряжения применяются к охрупченному компоненту, он может преждевременно выйти из строя неожиданным и иногда катастрофическим образом. Внешне прикладываемая нагрузка не требуется, поскольку растягивающие напряжения могут быть из-за остаточных напряжений в материале. Порог напряжения, чтобы вызвать образование трещин, как правило, ниже предела текучести материала. Таким образом, катастрофическое разрушение может происходить без существенной деформации или очевидного ухудшения состояния компонента [32].

Это может происходить тремя различными способами:

- Внутреннее водородное охрупчивание. Водород поступает в металл в процессе его обработки. Это явление, которое может привести к разрушению конструкции из материала, который никогда не подвергался воздействию водорода до этого. Внутренние трещины иницируются, и характеризуются прерывистым ростом. Не более 0,1-10 ppm (частей на миллион) водорода необходимо для данного эффекта. Эффект наблюдается в интервале температур между 173 и 373 К и является наиболее тяжелым вблизи комнатной температуры.

- Внешнее водородное охрупчивание. Происходит, когда материал подвергается атмосфере водорода, например, резервуары для хранения.

Поглощенный водород изменяет механическую характеристику материала без необходимости формирования второй фазы. Эффект сильно зависит от напряжения, приложенных к металлу. Он также максимизируется при температуре приблизительно комнатной.

- Гидридное растрескивание. Это явление, в котором водород вступает в химическую реакцию с составной частью металла, чтобы сформировать новый микроструктурный элемент или фазу, такой как гидрид или для образования пузырьков газа метана в результате реакции с углеродом, который аккумулирует в границах зерен металлических компонентов, приводящих к недостаточности, вызванной незначительным ростом и при содействии ползучести.

Случай образования гидридов представляет собой иную природу и в титановых сплавах является типичным. Микроструктура этих сплавов обычно состоит из двух фаз (α и β) с различными значениями растворимостью водорода и параметрами диффузии. Водород поступает в сплав по границам зерен или другими легкими путями, такими как β -фаза, образуя гидриды в α -фазе [33].

1) Водородное охрупчивание α -титана

Растворимость водорода в α -титане и, следовательно, его влияние на металл зависят от чистоты металла. Поэтому важно отличать титан высокой чистоты от технического титана и α -титана, легированного различными элементами. Растворимость водорода в чистом α -титане составляет ~ 8 ат.% при 325°C и 0,1 ат.% при 125°C (рисунок 10).

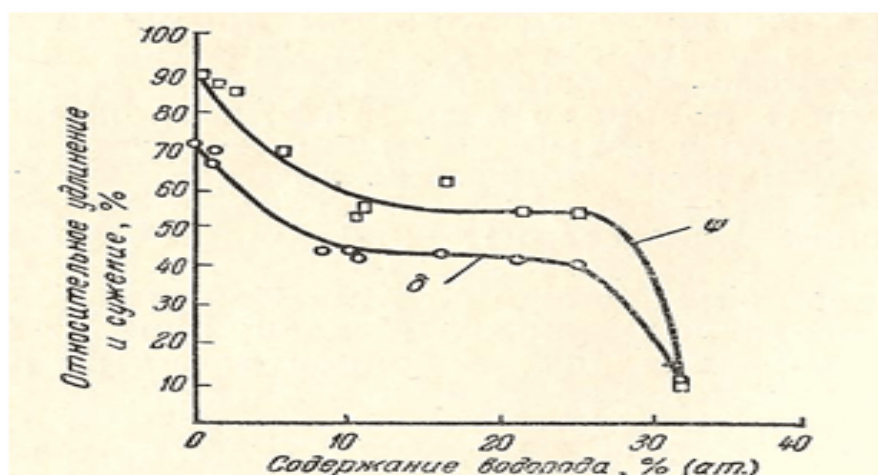


Рисунок 10 – Изменение пластичности титана высокой чистоты при растяжении при комнатной температуре в зависимости от содержания водорода.

2) Водородное охрупчивание α - β -титановых сплавов

Водород является элементом, стабилизирующим β -фазу, он имеет большее сродство с β -фазой в α - β -сплавах. При эвтектоидной температуре распределение водорода между β - и α -фазами выражается отношением порядка 5:1. При комнатной температуре это отношение, вероятно, выше вследствие значительного уменьшения растворимости водорода в α -фазе. Охрупчивание α - β -титановых сплавов под влиянием водорода было изучено многими исследователями. Рэйлски считает, что α - β -титановые сплавы, содержащие до 4,5 ат. % водорода (что в 5 раз превышает концентрацию, вызывающую охрупчивание), не имеют гидридной фазы. Однако автораддиографическое исследование α - β -титановых сплавов, содержащих не более 2,7 ат. % водорода, показало, что водород распределяется по границам между α - β -фазами после термического старения (рисунок 11). Так как при производстве технических α - β -сплавов используется большое количество элементов, стабилизирующих β -фазу, не удивительно, что явление водородной хрупкости изучалось на весьма разнообразных по составу титановых сплавах. Однако во всех изученных сплавах явление водородной хрупкости характеризовалось одними и теми же признаками [34-36].

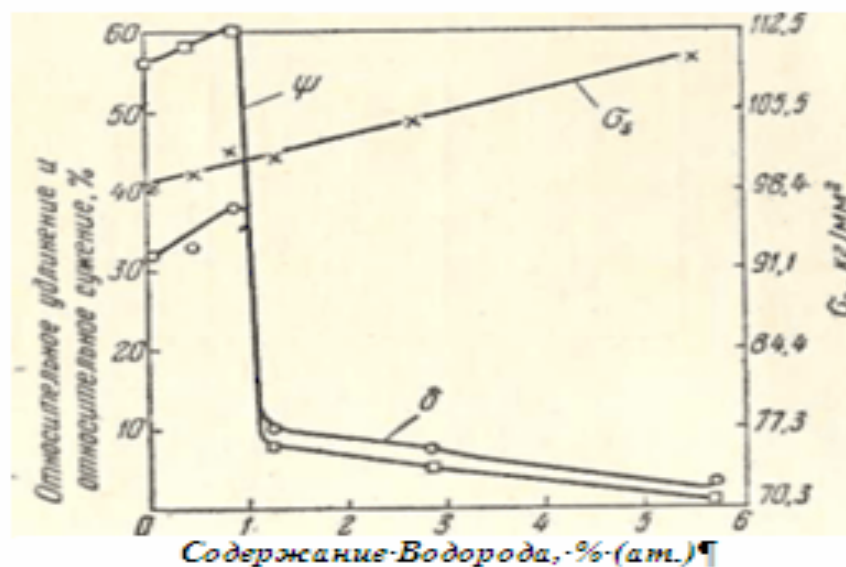


Рисунок 11 – Изменение механических свойств технически чистого сплава Ti в зависимости от содержания водорода

Вследствие более высокой растворимости водорода в β -фазе по сравнению с α -фазой не удивительно, что явление водородного охрупчивания протекает в α - β -сплавах иначе, чем в однофазном α -титане. В этих сплавах под влиянием водорода изменяются в первую очередь обычные свойства при испытании на растяжение, а не свойства, определяемые при ударном испытании.

Глава II. Материал и методы исследования

2.1 Материал исследования

Объектом данного исследования являются прямоугольные плоские образцы титанового сплава ВТ6, которые имеют размеры 20×20×1 мм. Для получения образцов без дефектов поверхности рельефа и деформации образцы подвергались шлифованию и полированию. Шлифование осуществлялось при помощи шлифовальной бумаги с зернистостью 1000, 1500 и 2000. Образцы титанового сплава были отожжены в вакуумной среде при температуре 750 °С в течение 60 минут, чтобы удалить дефекты и снять поверхностное напряжение. Для изучения механических свойств данного материала проводили измерения микротвердости.

Химический состав титанового сплава ВТ6 в % представлен в таблице 3.

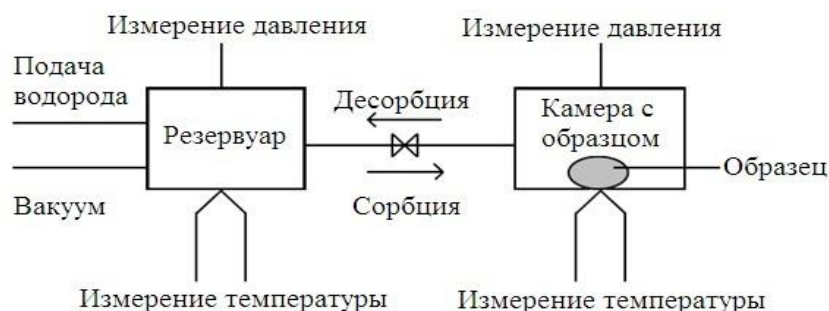
Таблица 3. Химический состав в % титанового сплава ВТ6

С	Н	О	V	Zr	Al
до 0,1	до 0,015	до 0,2	3,5 – 5,3	до 0,3	5,3 – 6,8
Ti	N	Si	Fe	Примесей	
86,45 – 90,9	до 0,05	до 0,1	до 0,6	прочих 0.3	

2.2 Насыщение водородом из газовой среды при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP

Автоматизированный комплекс GRC это устройство, которое используется для насыщения и измерения количества сорбированного газа различными твердыми образцами при различных температурах и давлениях [37].

Среда работы автоматизированного комплекса GRC перед началом наводороживания должна быть вакуумом. Водород напускается в резервуар и определяется его молярный объем (N_0) при данном давлении и температуре. После этого открывается клапан между резервуаром и реакционной камерой, водород перемещается в реакционную камеру и реагирует с образцом. Когда реакция завершается, вычисляется общее молярное количество водорода (N_g) в камере с образцом и в резервуаре.



. Рисунок 12 – Принцип работы автоматизированного комплекса GRC

Молярный объем водорода, который реагирует с образцом (N_s)

$$N_s = N_0 - N_g$$

Если в образце уже содержится водород с известным количеством (N_{s0})

$$N_s = N_{s0} + N_0 - N_g$$

Количество водорода определяется по давлению водорода, его температуре и объему [36].

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V^2} + \frac{D(T)}{V^3}$$

$$B(T) = B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}, C(T) = -B_0b + \frac{A_0a}{RT} - \frac{B_0c}{T^3}, D(T) = \frac{B_0bc}{T^3}.$$

Для водорода значения констант: $A_0 = 0,1975$, $a = -0,00506$, $B_0 = 0,02096$, $b = -0,04359$, $c = 504$.

таким образом

$$n = \left(\frac{pV}{RT}\right) / \left\{1 + B(T) \frac{n}{V} + C(T) \frac{n^2}{V^2} + D(T) \frac{n^3}{V^3}\right\}$$

Значение n определяется операционным методом. Количество водорода, который реагирует с образцом, определяется в абсолютном значении (см³). Абсолютное значение количества поглощенного водорода определяется как молярный объем водорода поглощенного твердым телом умноженный на 22413,6. Относительное значение количества поглощенного в массовых процентах (wt)

$$wt = \frac{N_s * M_G}{m * 100}$$

где m – масса образца и M_G – молярная масса газа

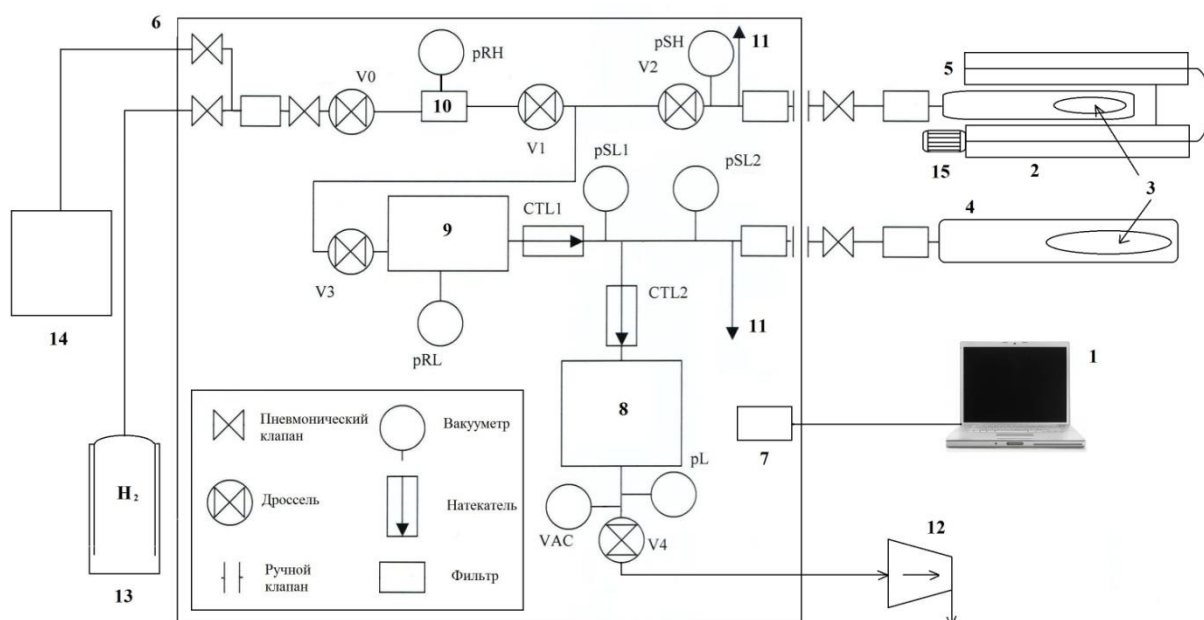


Рисунок 13 – Схема автоматизированного комплекса Gas Reaction

1 – компьютер; 2 – печь/криостат; 3 – образец; 4 – камера низкого давления; 5 – камера высокого давления; 6 – контроллер; 7 – электронная система управления комплексом; 8 – резервуар; 9 – резервуар низкого давления; 10 – резервуар высокого давления; 11 – система экстренного удаления водорода; 12 – вакуумный пост; 13 – баллон с водородом; 14 – генератор водорода; 15 – система охлаждения

Проведение экспериментов по термодесорбционной спектроскопии на базе автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LPB делает

возможным получение спектров термодесорбции после насыщения образцов водородом без извлечения образцов из вакуумной среды. Для этого образец помещается в реакционную камеру низкого или высокого давления в зависимости от условий эксперимента. Затем камера вакуумируется по тракту на рисунке 7: вакуумный пост 12 – клапан V8 (клапан V7 используется совместно с дросселем при откачке большого количества водорода из вакуумной системы) – клапан V4 – натекаТЕЛЬ CTL2 – клапан V5 – клапан V10 – необходимая камера. После удаления из камеры атмосферного воздуха осуществляется линейный нагрев образца до температуры, при которой будет происходить насыщение водородом. В процессе нагрева осуществляется непрерывная откачка камеры для удаления десорбированных из образца примесей. После завершения нагрева в камеру напускается заданное количество водорода по тракту: баллон с водородом 13 или генератор водорода 14 – резервуар низкого давления или резервуар высокого давления (при использовании соответственно камеры низкого или высокого давления) – клапан V2 – натекаТЕЛЬ CTL1 – клапан V3 – клапан V10 – необходимая камера. Образец выдерживается в среде водорода при заданной температуре и постоянном давлении необходимое время. После завершения реакции отключается нагрев, и водород откачивается из вакуумной системы по тракту для вакуумирования камеры, описанному выше. После охлаждения образца до комнатной температуры камера вакуумируется по тракту: вакуумный пост 12 – клапан V13 – встроенный турбомолекулярный насос 8 – клапан V11 (клапан V12 совместно с дросселем используется для уменьшения количества газов, поступающих в масс-спектрометр при нагреве) – клапан V10 – необходимая камера. После достижения на участке от встроенного турбомолекулярного насоса до клапана V11 давления не выше $1 \cdot 10^{-5}$ кПа включается масс-спектрометр и запускается линейный нагрев с заданной скоростью. В процессе линейного нагрева водород и другие присутствующие в образце и на стенках камеры газы десорбируются и отслеживаются масс-спектрометром. При использовании программного обеспечения масс-спектрометра отслеживаются

сразу до 8 различных примесей, к примеру, водород, кислород, азот, углерод, пары воды и т.д. После завершения эксперимента образец охлаждается и затем может быть опять насыщен водородом или извлечен из камеры [38].

2.3 Метод Виккерса

Тест твердости по Виккерсу был разработан в 1921 году Робертом Л. Смитом и Джорджем Э. Сандлэнд в качестве альтернативы метода Бринелла для измерения твердости материалов. Метод Виккерса часто проще в использовании, чем другие испытания на твердость, потому что требуемые расчеты не зависят от размера алмазного индентора, а индентор может использоваться для всех материалов. Основным принцип метода Виккерса, как и для всех общих мер твердости, заключается в том, чтобы наблюдать способность материала сопротивляться пластической деформации [39]. Метод Виккерса может использоваться для всех металлов и имеет один из самых широких масштабов среди испытаний на твердость. Единица измерения твердости, данная тестом, известна как количество Виккерсов (HV) или твердость алмазной пирамиды (DPH). Номер твердости можно преобразовать в единицы паскалей, но не следует путать с давлением, которое также имеет единицы паскалей. Число твердости определяется нагрузкой по площади поверхности отступа, а не нормалью к силе и, следовательно, не является давлением. Так как тестовый отступ очень мал в тесте Виккерса, он полезен для различных применений: тестирование очень тонких материалов, таких как фольга, или измерение поверхности детали, мелких деталей или небольших областей, измерение отдельных микроструктур или измерение глубины Упрочнение корпуса путем отделения части и создания ряда углублений для описания профиля изменения твердости. Наиболее широко используется метод Виккерса.

Индентор должен быть способен производить геометрически похожие отпечатки, независимо от размера. Отпечаток должен иметь четко определенные точки измерения. Индентор должен иметь высокую

устойчивость к самодеформации. Эти условия удовлетворяли алмазу в виде квадратной пирамиды. Было установлено, что идеальный размер отпечатка Бринеллю был $3/8$ диаметра шарика. Поскольку две касательные к окружности на концах хорды $3d/8$ пересекаются с длинами в 136° , было принято решение использовать это как включенный угол индентора, давая угол горизонтальной плоскости 22° с каждой стороны. Угол варьировался экспериментально, и было обнаружено, что величина твердости, полученная на однородном куске материала, оставалась постоянной, независимо от нагрузки. Соответственно, нагрузки различных величин применяются к плоской поверхности в зависимости от твердости измеряемого материала. Затем число HV определяется отношением F/A , где F - сила, приложенная к алмазу в килограммах, а A - площадь поверхности полученного углубления в квадратных миллиметрах.

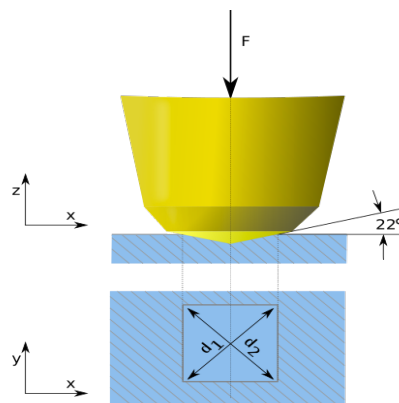


Рисунок 14 – Схема индентора Вickers

A можно определить по формуле.

$$A = \frac{d^2}{\sin 136^\circ / 2}$$

можно аппроксимировать

$$A \approx d^2 / 1.854$$

Где d - средняя длина диагонали следа от индентора в миллиметрах

$$HV = F/A \approx 1.854 * F/d^2 \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

F – kgf, d – mm

Соответствующие единицы HV представляют собой килограмм силы на квадратный миллиметр (kgf / mm^2). Чтобы вычислить число твердости по Виккерсу с помощью единиц SI, необходимо преобразовать силу, применяемую от ньютонов к килограмму, путем деления на 9,80665 (стандартная сила тяжести). Это приводит к следующему уравнению

$$HV \approx 0.1891 * F/d^2 [\text{kgf}/\text{mm}^2]$$

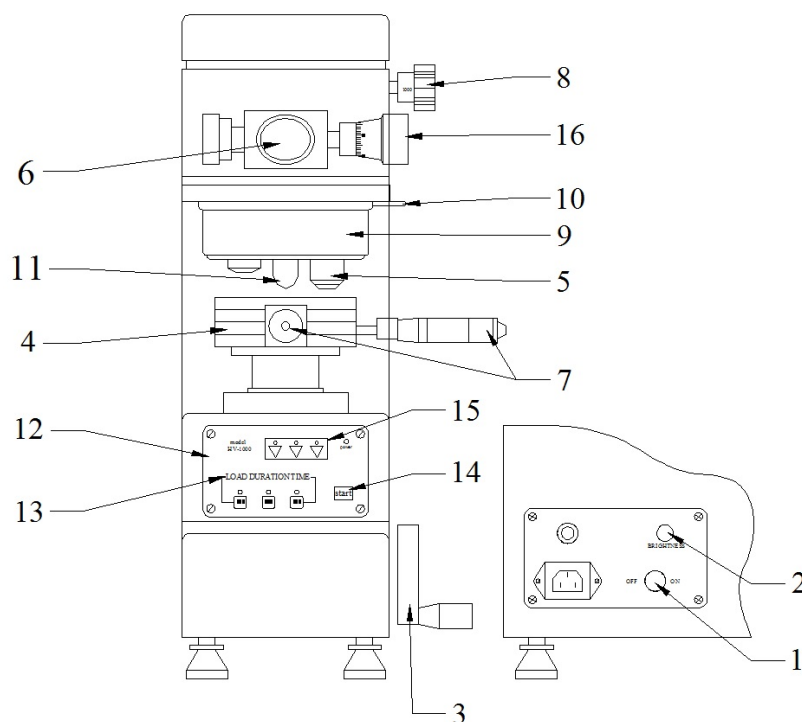


Рисунок 15 – Схема твердомера по Микро-Виккерсу HV-1000:

1 – кнопка включения питания; 2 – переключатель яркости освещения; 3 – подъемный маховик; 4 – столик; 5 – 40X объектив; 6 – окуляр объектива; 7 – регулировочные ручки; 8 – рукоятка регулировки испытательного усилия; 9 – вращающаяся головка; 10 – ручка; 11 – индентор; 12 – лицевая панель; 13 – кнопки для установки времени; 14 – кнопка приложения нагрузки; 15 – светодиодная панель «нагружение-снятие-нагружение»; 16 – измерительный маховичок.

Твердомер по Микро-Виккерсу HV-1000 состоит из кнопки включения питания (1) и переключателя яркости освещения (2), с помощью которого настраивается нужная яркость. При помощи подъемного маховика (3) поднимается столик (4) до высоты на которой находится 40X объектив (5),

после получения в окуляре объектива (6) изображения поверхности, с помощью регулировочных ручек (7) можно найти определенный участок поверхности для проведения идентификации, затем устанавливается испытательная нагрузка с помощью рукоятки регулировки испытательного усилия (8). После переведения вращающейся головки (9), с помощью ручки (10), на индентор (11) на лицевой панели (12) устанавливается время для проведения анализа с помощью кнопок (13), далее на той же панели необходимо нажать кнопку приложения нагрузки (14). Затем, необходимо ожидание завершения анализа пока на светодиодной панели «нагружение-снятие-нагружение» (15) пока не погаснут все лампочки. Снова переводим положение вращающейся головки на 40X объектив и находим в окуляр объектива отпечаток алмазной пирамидки на поверхности образца. Затем с помощью регулировочных ручек перемещаем отпечаток, чтобы выставить одну линию касательно к одной из диагоналей отпечатка. Далее вращаем измерительный маховичок (16) до выставления второй линии касательного другого конца диагонали. Затем по шкале измерительного маховичка определяем длину диагонали в 40X объективе. Далее по следующему формуле определяем твердость:

$$HV = 1,8544 * \frac{F}{\left(\frac{d}{40}\right)^2},$$

Как правило, при измерениях по Виккерсу никаких вычислений по приведенной формуле не применяют, а используют табличные значения, исходя из приложенного усилия, времени воздействия и результирующей площади следа [40]. Значение приложенной силы регламентировано и составляет 30 кг. Время воздействия на поверхность обычно составляет 10-15 с. Это самые распространенные значения, однако во многих ситуациях необходимо воздействовать на материал образца при помощи иных значений силы. Величина нагрузки зависит от измеряемого материала (его предполагаемой твердости). Чем тверже поверхность испытуемого образца материала, тем больше нагрузка. Это вызвано стремлением к уменьшению погрешности при определении площади и уменьшения влияния вязкости

материала. Для снижения погрешности также предъявляются ограничения по размерам испытуемого образца. Минимальная толщина образца должна быть в 1,2-1,5 раз больше предполагаемой диагонали отпечатка в зависимости от вида металла (меньшая величина соответствует стали, большая предназначена для цветных металлов). Расстояние между краем образца или краем предыдущего отпечатка и центром отпечатка должно быть не менее 2,5 величины диагонали.

Особые требования предъявляются также к чистоте поверхности. Ее шероховатость не должна превышать 0,16 мкм, что означает необходимость в полировке поверхности. Малые линейные размеры образца требуют применение микроскопа для измерения размеров отпечатка, причем, чем тверже образец, тем более четкую картинку должен передавать микроскоп для сохранения точности измерения.

Измерение твердости по методу Виккерса – универсальный метод, но наиболее точные значения он дает при исследовании веществ с высокой твердостью. Малые усилия и, соответственно, небольшие линейные размеры отпечатка позволяют практически не нарушить поверхность измеряемого материала. Дальнейшее развитие метод Виккерса получил при измерениях микротвердости. Величина давления при этом составляет от 2 до 500 г, а глубина погружения индентора не превышает 0,2 мкм. Столь малые величины требуют применения микроскопов с большой увеличительной способностью. Причина применения данной методики заключается в измерениях прочности покрытий практически любой толщины и твердости. Таким образом, не существует принципиальных ограничений по определению характеристик анодированных, цементированных и азотированных деталей и инструментов. Это важно при определении качества гальванических и химических покрытий. Возможны измерения очень тонких поверхностных слоев. К примеру, если использовать методику Виккерса по определению микротвердости с глубиной погружения 0,2 мкм, то допустимая толщина материала составляет 0,3 мкм. Глубина упрочненного слоя стали при использовании различных методик составляет десятые доли миллиметра, толщина слоя родия составляет десятки

микрометров. В отечественных лабораториях наиболее распространен твердомер типа ТП-7Р-1. Он имеет пять фиксированных значений испытательной нагрузки с пределами измерений HV от 8 до 2000.

Основной недостаток метода Виккерса заключен в самом принципе измерений – это зависимость полученного значения измеряемой величины от приложенной нагрузки. Чтобы избежать погрешностей, жестко регламентированы величины прикладываемых усилий и время воздействия на образец.

Глава III. Результаты эксперимента

Изображения поверхности образца титана ВТ6, полученного с помощью 3D-принтера представлены на рисунке 16.

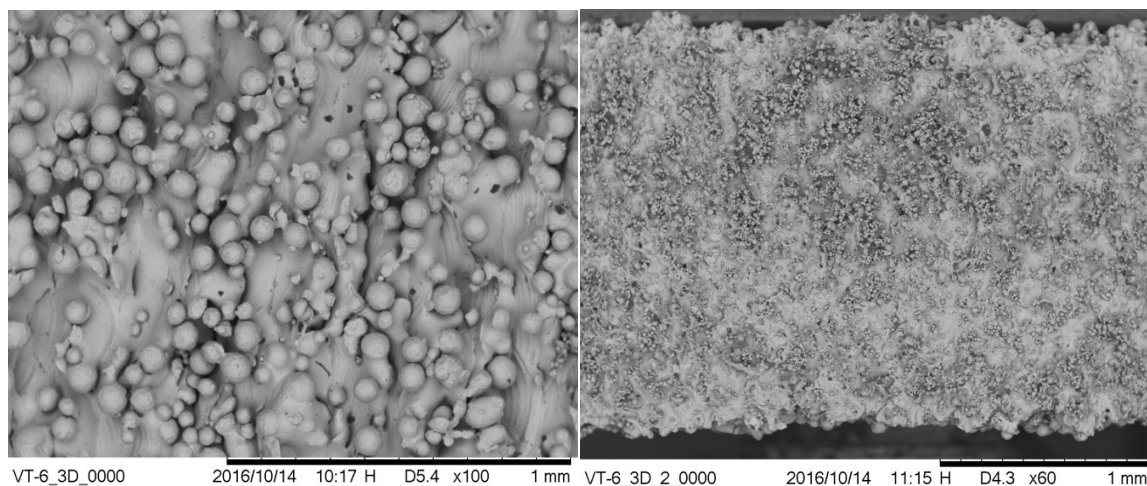


Рисунок 16 – Изображение поверхности образца титана ВТ6, полученного с помощью 3D-принтера

Для осуществления селективного лазерного спекания были использованы сферические порошки, у которых размеры 20 до 120 мкм. Поэтому на поверхности изделия существуют шаровые выступы. А процесс шлифования необходим для снятия тонкого поверхностного слоя металла. При этом уменьшение шероховатости происходит, главным образом, за счет срезания абразивными зёрнами высоты микровыступов.

Накопление водорода (сорбционные кривые) образцами титана изготовленных литьем и титана, сформированного методом селективным лазерным спеканием из газовой среды при температуре 750 °С в зависимости от времени насыщения представлены на рисунке 17.

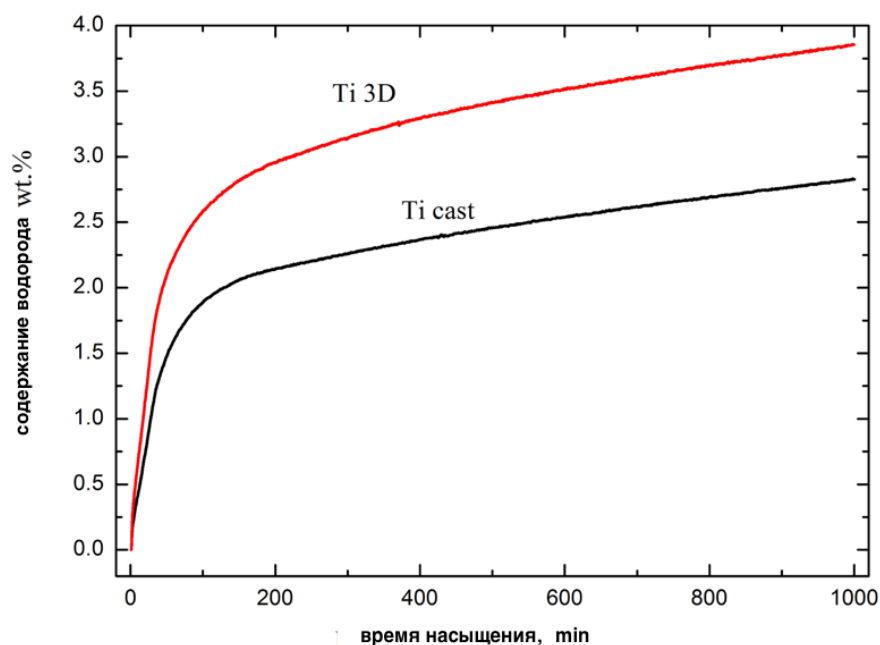


Рисунок 17 – Накопление водорода образцов титанового сплава ВТ6 изготовленного литьем и титана 3D при насыщении из газовой среды в зависимости от времени насыщения

Исследование показало, что при данных условиях насыщения увеличение времени насыщения до 1000 минут при температуре 750 °С приводит к увеличению концентрации водорода титана 3D до 3.8 масс.% и титанового сплава изготовленного литьем до 2.8 масс.%. Таким образом, титан, сформированный по технологии 3D обладает лучшей способностью накапливать водорода. Причиной этому является повышенная концентрация таких ловушек для водорода, как микропоры, пустоты, а также различного рода дефекты, захватывающие водород. Более развитая структура поверхности образца ВТ-6 изготовленного методом селективного лазерного спекания также приводит к более эффективной адсорбции водорода.

Результаты исследования микротвердости образцов титанового сплава ВТ6 изготовленного литьем и титана 3D в зависимости от нагрузки представлены на рисунке 18.

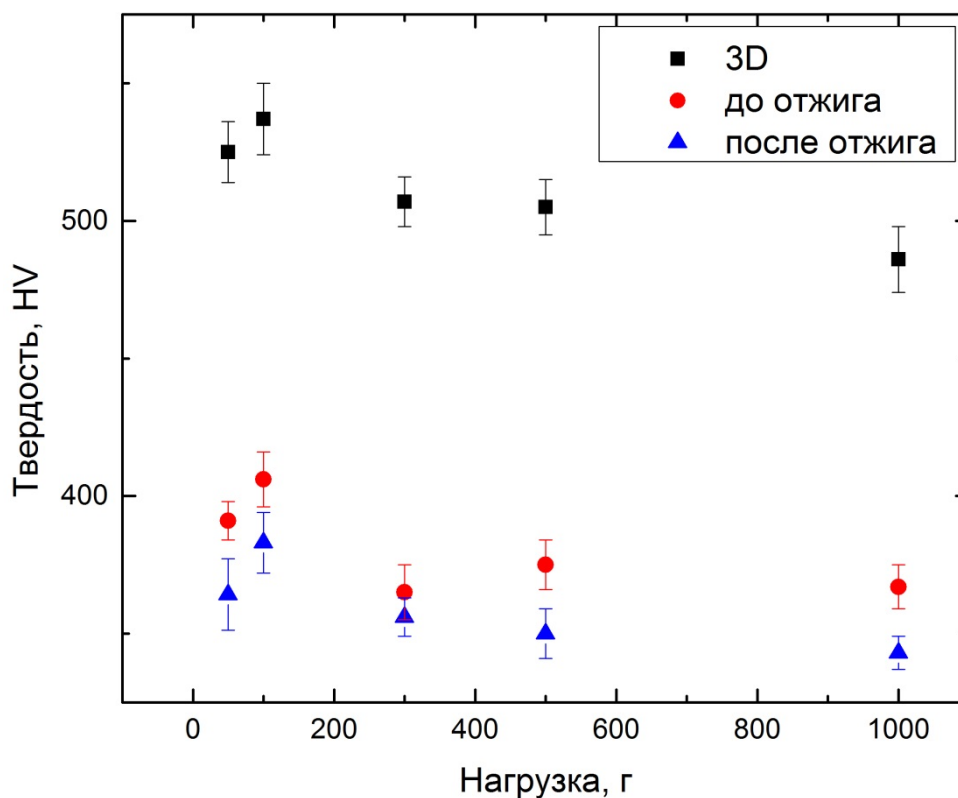


Рисунок 18 – Микротвердость образцов титанового сплава ВТ6 изготовленного литьем и титана 3D

Видно, что микротвердость титана, изготовленного литьем в состоянии поставки выше микротвердости титана после отжига, что вполне закономерно и обуславливается наличием в титане до отжига большего количества дефектов и внутренних напряжений. Исследование показало, что микротвердость титана 3D при любой нагрузке выше чем твердость титанового сплава ВТ6 изготовленного литьем в обоих состояниях: как до, так и после отжига. Т.е. по сравнению с титаном изготовленного литье, ВТ6 получает преимущественное свойство по твердости для изготовления деталей с помощью 3D-принтера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы по исследованию свойств образцов титанового сплава ВТ6 изготовленных литьем и образцов, изготовленных методом селективного лазерного спекания, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально установлено, что при данных условиях насыщения увеличение времени насыщения до 1000 минут приводит к увеличению концентрации водорода титана 3D до 3.8 масс. % и титанового сплава, изготовленного литьем до 2.8 масс.%. За первые 100 минут происходит быстрое увеличение концентрации водорода. Увеличение концентрации водорода титана 3D очевидно больше, чем титанового сплава ВТ6 изготовленного литьем. Кривая зависимости концентрации водорода в титане 3D и титановом сплаве ВТ6 изготовленного литьем от времени выходит на насыщение на уровне 3.8 масс. % и 2.8 масс. %, соответственно, что связано с образованием гидридных фаз на поверхности материала. Показано, что по сравнению с титаном изготовленного литьем, больше дефектов находится в объеме образца ВТ-6, изготовленного методом селективного лазерного спекания. Таким образом, образцы, полученные методом SLS являются более подверженными сорбции водорода и, соответственно, водородному охрупчиванию.

2. Показано, что твердость титана 3D при любых значениях нагрузки выше, чем твердость титанового сплава ВТ6 изготовленного литьем. Таким образом, показано, что метод получения изделия на основе аддитивных технологий, может создавать изделия, имеющие повышенную (на 30%) твердость, по отношению к изделиям, изготовленным литьем.

В результате данной работы было показано, что метод селективного лазерного спекания (SLS) помимо перспективной производительности, может также применяться для добавления новых свойств изделиям из титанового сплава ВТ6.

ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В процессе поиска источников финансирования научных исследований и коммерциализации их результатов необходимым условием является оценка коммерческой ценности произведения. В то же время разработчики должны представить современное состояние и перспективы своих научных исследований.

В дополнение к техническим параметрам предыдущих разработок, чтобы пройти, нужно узнать понимание коммерческой привлекательности исследований.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурс эффективност и ресурсосбережение» является разработка и создание жизнеспособных конкурирующей технологий, которых отвечают современным требованиям в области эффективности и ресурсов.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того чтобы анализировать потребителей результатов исследований необходимо учитывать целевой рынок и проводить его сегментацию.

Целевой рынок - это сегменты рынка, на котором развитие будет продано в будущем. В свою очередь, *сегмент рынка* является специально выделенной частью рынка, группой потребителей с определенными общими чертами.

Сегментирование – это разделить клиентов на однородные группы, каждая из которых конкретный продукт может потребоваться (услуги). Вы можете использовать географические, демографические, поведенческие и другие критерии сегментации потребительского рынка, вы можете использовать комбинацию таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, хобби, образ жизни, социальный статус, профессия, доход.

Используйте соответствующие стандарты деления, основанные на потребительской категории. Как пример, ради коммерческих организаций критериями сегментации могут быть: местоположение; филиал; выпускаемая продукция; размер и другие.

Сегмент рынка услуг по использованию селективного лазерного спекания в соответствии со следующими критериями: размер компании-клиента, сфера. Исходя из этого, мы можем составить карту сегментации рынка услуг для селективного лазерного спекания.

Селективное лазерное спекание используется по всему миру, так как позволяет легко и быстро производить изделия сложной формы на основе цифровых данных. Первоначально данным способом создавались прототипы и модели на раннем этапе конструирования, однако сейчас метод широко используется в производстве окончательных продуктов. Сфера применения 3D-печати методом селективного лазерного спекания обширна: детали силовых установок, авиастроение, машиностроение, космонавтика. В последнее время технология используется для создания предметов искусства и дизайна.

4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) - это гибкий инструмент для измерения характеристик, характеризующих качество новой разработки и ее

перспективы на рынке, и позволяющий вам принять решение о целесообразности инвестирования денег в исследовательский проект.

Для того чтобы упростить процедуры квадроциклов, рекомендуется, чтобы оценить в табличной форме (табл. 4.1.1).

Таблица 4.1.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Время производства	0,1	85	100	0,85	8,5
2. Энергоэффективность	0,2	86	100	0,93	8,6
3. Надежность оборудования	0,1	93	100	0,86	18,6
4.Безопасность оборудования	0,3	100	100	0,88	10
5. Простота эксплуатации	0,3	90	100	0,96	9
6.Ремонтопригодность	0,1	88	100	0,94	26,4
7. Уровень шума	0,1	94	100	1	9,4
Итого	1.2	635.95	700	6.419	90,5.

Оценка технические перспективы и качества QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum = B_i B_i, \quad (4.1.1)$$

где P_{cp} – средневзвешенный показатель качества и доступности научных разработок;

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя;

B_i – вес показателя.

Из проведенных расчетов мы можем сделать вывод, что разработка считается перспективной.

4.2 Планирование этапов и выполнение работ по НИОКР

4.2.1 Планирование этапов работ

Для того чтобы выполнять и планировать данную работу по теме исследование механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ полученного методами литья и селективного лазерного спекания, сначала необходимо разделить на несколько частей, то есть на различных этапах:

1. Подготовительный этап. Выбор темы; изучение, анализ информации по выбранной теме. Техничко-экономическое обоснование целесообразности проведения исследований по данной теме. Определение рабочей группы;
2. Теория формирования части. Определить возможные направления исследования;
3. Осуществление экспериментов по теоретической части;
4. Количественная оценка экспериментальных исследований, выбор параметров, проведение численных моделирований;
5. Настройка параметров, разработанных после результатов приема эксперимента;
6. Выводы и рекомендации по этому вопросу, в которых результаты развития. Разработка технологии отчета;
7. Заключительный этап. Анализ результатов исследования всей рабочей группы. Утверждение результатов. Подготовка отчетных документов.

Научные исследования группа выступала, включена научные управления техники и студенты.

Таблица 4.2.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Утверждение и составление задания НИР	Студент-дипломник, руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Поиск материалов по теме и изучение поставленной задачи	Студент-дипломник

	3	Выбор методов исследования	Студент-дипломник, руководитель
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, Консультант, студент-дипломник
Экспериментальные исследования и теоретические	5	Разработка приборов для исследования	Руководитель, студент-дипломник, консультант
	6	Проведение экспериментов	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник, руководитель
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник консультант
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
Защита отчета	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИОКР

Сложность реализации НИОКР оценивается экспертами в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как это зависит от многих факторов трудно. Вычислительная сложность выполняется экспериментальный статистический метод, основанный на определении ожидаемого периода работы в человеко-днях по формуле:

$$t_{\text{ож } i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min } i} + 2 \cdot t_{\text{max } i}}{5}, \quad (4.2.1)$$

где $t_{\text{ож } i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{max } i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$t_{\text{min } i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для определения продолжительности работы в рабочие дни воспользуемся формулой:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (4.2.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – количество художников в то же время та же работа на данном этапе реализации, чел.

Для удобства составления календарного графика продолжительность этапов в рабочих днях пересчитывается на календарные дни и может рассчитываться по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (4.2.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности может рассчитываться по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4.2.4)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году.

Определите продолжительность стадий в рабочих днях и коэффициент календарного планирования:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 68 - 46} = 1,45,$$

тогда продолжительность стадий в рабочих днях, следует учитывать, что предполагаемая продолжительность работы T_k должна быть округлена до целых чисел, Результаты расчетов приведены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2. Временные показатели проведения научного исследования















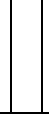
№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t_{min} , чел-дн	t_{max} , чел-дн	$t_{ож}$, чел-дн	T_p , раб.дн	T_k , кал.дн	$У_i$, %	Γ_i , %
1	Руководитель	3	7	4,6	4,6	7	7,6	7,6
2	Студент-дипломник Руководитель	14	19	18	9	13	15	22,6
3	Руководитель	5	8	6,2	6,2	9	10,3	32,9
4	Руководитель	5	9	6,6	6,6	10	11	43,9
5	Руководитель, Консультант, Студент-дипломник	7	14	9,8	3,3	5	5,5	49,4
6	Студент-дипломник	6	8	6,8	6,8	10	11,3	60,7
7	Студент-дипломник,	8	11	9,2	9,2	13	15,3	76
8	Консультант, Студент-дипломник	7	9	7,8	3,9	6	6,5	82,5
9	Студент-дипломник Руководитель	4	9	6	3	4	5	87,5
10	Студент-дипломник	6	10	7,6	7,6	11	12,5	100,0
	Итого			82.6	60.2	88	100,0	




4.2.3 Построение графика работ

Наиболее удобный и интуитивно понятный вид графика работы - это создание ленточного расписания для проведения исследований в форме диаграмм Ганта. Диаграмма Ганта - это горизонтальная ленточная диаграмма, в которой работы по теме представлены длительными промежутками времени, характеризующимися датами начала и конца выполнения этих работ.

Расписание будет построено в рамках таблицы 4.2.3 с разбивкой по месяцам или неделям (7 дней) в течение срока действия сертификата.

Таблица 4.2.3. Календарный план проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	t_k	Февраль	Март	Апрель	Мая	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	руководитель	8					
2	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель Студент-дипломник	11	 				
3	Выбор моделей и способов анализа	руководитель	8					
4	Календарное планирование работ	руководитель	6					
5	Изучение литературы по теме	Студент-дипломник, руководитель	7		 			
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник	10					
7	Систематизация и оформление информации	Студент-дипломник	10					
8	Измерение и получение цифры	Студент-дипломник, консультант	4			 		
9	Анализ полученных результатов	Студент-дипломник Консультант руководитель	3			  		
10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник	18					

 - консультант,
  - руководитель,
  - студент-дипломник

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Если полное и надежное отражение всех расходов, связанных с его реализацией в контексте должны быть доступны для планирования бюджета НТИ.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет стоимости материалов может осуществляться по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.3.1)$$

где m – Количественный показатель видов материальных ресурсов, которых потреблять научные исследования в реализации;

$N_{\text{расх}i}$ – Количественный показатель материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (м, кг, шт., и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./кг, руб./м, руб./м², руб./шт., и т.д.);

k_T – коэффициент, который учитывать транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы находиться в пределах 15-25% от стоимости материала.

Таблица 4.3.1. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
Сплавы	Шт.	8	500	4000

Бумага	Лис.	150	2	300
Электролит (физраствор)	Бутылка	8	65	520
Интернет	М/бит	2	350	700
Ручка	Шт.	4	20	80
Тетрадь	Шт.	4	50	200
Итого			987	5800

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Эта статья включает все затраты, которые связаны с приобретением специального оборудования (инструментов, приборов, стендов, устройств и механизмов), необходимых для выполнения работы по определенной теме.

При покупке специального оборудования необходимо учитывать затраты на его доставку и установку в размере 15% от его цены.

Таблица 4.3.2. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/ п	Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.
--------------	---------------------------	---------------------------------------

1.	Установка автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller	5750
2.	Электрическая ячейка	5635
3	Установка твердомера по Микро-Виккерсу HV-1000	7200
4	Индукционный нагреватель	8500
5	компьютер	230
Итого:		27315

4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Статья содержит основные заработной платы работников, непосредственно в реализации проекта участвуют (в том числе премий, бонусов) и дополнительные зарплат. Заработная плата может рассчитываться по формуле:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (4.3.2)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) может рассчитываться по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.3.3)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата может рассчитываться по следующей формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.3.4)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе $M=10,4$); F_d – фактический учет времени научно-технического персонала ($F_d=1794$).

Баланс рабочего времени показан на таблице 4.3.3.

Таблица 4.3.3

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	68	68	68
- праздничные дни			
Потери рабочего времени			
- отпуск	46	46	46
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.3.5)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.3.4
Расчёт основной заработной платы

Исполнители по категориям	$Z_{\text{осн.}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	Умножить на рабочие дни
Руководитель	18000	0,3	0,4	1,3	42480	1760,46	75699,78
Инженер	10093	0,3	0,2	1,3	21059,04	873,81	47185,74
Лаборант	10093	0,3	0,2	1,3	21059,04	873,81	9611,91

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Сумма отчислений в внебюджетные фонды определяется на основании следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{доп}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.3.6)$$

где: $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30%.

Таблица 4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб
Руководитель проекта	75699,78
Консультант	47185,74
Студент-дипломник	9611,91
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Итого	35906,8

4.3.5 Накладные расходы

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты. Стоимость 1 кВт/час – составляет 5,8 руб.

№ п/ п	Наименование оборудования	Время использования оборудования, ч	Мощность потребления, кВт.	Затраты на электроэнергию, руб.
1.	Установка автоматизированн ого комплекса Gas Reaction Controller	30	0,52	90,48
2.	Электрическая ячейка	60	1,12	389,76
3	Установка твердомера по Микро-Виккерсу HV-1000	20	0,44	510,4
4	Индукционный нагреватель	40	0,16	37,12
5	компьютер	7	0,12	4,87
Итого:				1032,63

4.3.6 Формирование бюджет затрат НТИ

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл. 4.3.6

Таблица 4.3.6. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	5800
Затраты на электроэнергию для научных (экспериментальных) работ	1033,63
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	66243
Амортизация оборудования	27315
Отчисления во внебюджетные фонды	35907,8
Бюджет затрат НТИ	136299,43

Вывод

При планировании научно-исследовательской оценки был произведен расчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета, стоимость материалов используются для группы (5800 руб.), стоимость науки (эксперименты) инженерного оборудования (1033,63 руб.), стоимость основной темы заработной платы исполнителя (66243 руб.), стоимость амортизации оборудования (27315 руб.), сеть внебюджетных фондов (35907,8 руб.). Всего бюджет представляет собой 136299,43 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима для представления финансового состояния и перспектив текущих исследований.

ГЛАВА 5. Социальная ответственность

Введение

Исследовательский документ для изучения влияния водорода на механические свойства титана включает в себя работу, выполненную на различных системах. Например, установка насыщения водорода, микротвердость и т. д. Основная задача в этой работе – исследование механических и сорбционных характеристик образцов титана ВТ6 полученного методами литья и селективного лазерного спекания. Поэтому, принимая во внимание безопасности и здоровье на рабочем месте путем гидрирования, контролирующего реакцию газа с использованием особого значения в данном исследовании. Контроль реакционного газа используется для исследования в отделении сорбционной / десорбции водорода из металлических и неметаллических материалов, используемых в процессе диффузии водорода термической диффузией.

5.1 Техногенная безопасность

Настройки работы Gas Reaction Controller осуществляется путем подачи напряжения переменного тока 220В, экспериментальное исследование в газовой атмосфере (гелий, водород). Во время работы газового реактора управления завода вредного воздействия факторов, таких как:

- микроклимат,
- электромагнитные поля,
- шум,
- освещение,

Кроме того, возможные последствия следующих угроз безопасности:

- пороговое напряжение;
- воздействие высоких температур;

- техническое обслуживание газовых баллонов (водород, гелий), которых работать под давлением.

Влияние электрического напряжения на человека обусловлено током, протекающим через него. Прохождение тока может вызвать раздражение и повреждение различных органов человека. Пороговый ток без отключения составляет 50 Гц (6-16 мА). Осуществляется защита от воздействия электрических токов через организационные, технические и профилактические меры.

Если воздействие тепла на организм человека, принимая во внимание, что важно отметить, что запрещает крышку нагретой печи от отверстия, прикасаться к камере и носить одежду во избежание термических ожогов при работе с установкой, в которую образец помещается.

Если есть утечка газа из цилиндра, это может привести к пожару. Утечки перед использованием проверки целостности газовых баллонов, которых прочность крепления, ни газа. Клапан и поток должен быть надлежащим образом проверить, манометр должен быть проверен, и скорректированный редуктор имеет газа в матче цилиндра.

Если компьютер нагрузки т вредного воздействия на организм человека на зрение, лицевые кожные заболевания, неврологические и психические расстройства и. Д. допустимое электрическое поле 25 В / м (от 5 Гц до 2 кГц) и 2,5 В / м (от 2 до 400 кГц). Различные фильтры используются для защиты от электромагнитных полей. Ориентация световые линии должны быть на северо-востоке или на севере. Искусственные источники света: люминесцентные вида ЛБ и ДРЛ. Оптимальный параметр микроклимата. Если он работает с шумом ПК, не может быть, значением для этих типов операций не превышают.

Для удобства работы в помещении необходимо нормализовать параметры микроклимата. Необходимо использовать защитные меры для методов и средств защиты от высоких и низких температур, систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, искусственного освещения и т. п.

5.2 Анализ вредных и опасных факторов

5.2.1 Электромагнитные поля

Чтобы проанализировать результаты работы, вы должны работать с компьютером. Источниками электромагнитного излучения являются электрические сигналы цепей, когда компьютер работает. Нарушения в организме человека под действием электромагнитных полей малых напряжений обратимы. Под влиянием полей, что напряжения, которые имеют более высокие, чем максимально допустимый уровень, развитие заболеваний нервной и сердечно-сосудистой систем, желудочно-кишечных и некоторых биологических параметров крови. Сильным источником электромагнитных полей в пространстве расположены системы отклоняющей катушки в непосредственной близости от базовых частей ЭЛТ-мониторов.

Стандарты напряженности электромагнитного поля на расстоянии 50 см от монитора к электрическому компоненту в таблице 5.2.1 указанного соответствующем.

Таблице 5.2.1. Нормы напряженности поля

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см. Вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: <ul style="list-style-type: none">– в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц– в диапазоне частот 2—400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: <ul style="list-style-type: none">– в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц– в диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать	500 В

Для того, чтобы соответствовать прочь с максимально допустимой электромагнитной напряженности поля от глаз до монитора 60 до 70 см должно

быть, но не менее 50 см. Увеличение расстояния приводит в 2-кратном 32-кратным уменьшением плотности мощности на более низких частотах для оператора.

5.2.2 Шум

В процессе работы, основные источники шума является вакуумным насосом. В стандартах гигиены приемлемый уровень шума составляет 55 децибел (дБ), чтобы быть в течение дня и 40 децибел (дБ) в ночное время [СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах]. Средство для защиты от шума балансировки вращающихся деталей для применения механических зазоров в передаче зубьев подходящих смазочных материалов.

Продолжительное воздействие *шума* на организмы человека имеют следующие последствия:

- а) более низкая производительность;
- б) память, внимание и чувствительность к предупреждающему сигналу остроты зрения;
- в) чувствительность слуха уменьшается.

Для того, чтобы довести уровень шума до санитарных норм, соблюдать следующие правила организации работы в области имеет:

1. внутренний блок кондиционер должен людьми творческого труда, участвующих (программист), и не использовать их на полную мощность и позволяет, климатические условия отдалены;
2. использование времени прерывания МФУ (при отсутствии аварийной ситуации);
3. выполняет в блоке своевременную профилактическую компьютерную систему (тестирование и смазка движущихся частей систем охлаждения, замена чрезмерно шумных компонентов)

5.2.3 Освещение

Рациональное освещение рабочего места позволяет предотвратить травмы и многие профессиональные заболевания. Правильно организованное освещение создает благоприятные условия работы, повышает эффективность и повышает производительность труда. Освещение на рабочем месте должно быть таким, чтобы люди могут работать без стресса. Существует три типа освещения: естественное, искусственное, комбинированное.

Для системы промышленного освещения должны отвечать следующим требованиям:

- a. соответствующий тип уровня освещения работы;
- b. яркость рабочей поверхности и окружающее пространство в равномерном распределении;
- c. оптимальная направленность излучаемых систем освещения светового потока;
- d. долговечность, эффективность, электрическая и пожарная безопасность, эстетика, комфорт и простота в использовании.

В промышленных и административно-общественных помещениях при первичной работе с документами допускается использование комбинированной системы освещения (общее освещение дополнительно устанавливается с помощью местных осветительных приборов, предназначенных для освещения местоположения документов).

Визуальная работа программиста характеризуется как работа с очень высокой степенью точности. Для этого требуется освещение 300 - 500 люкс [СП 52.13330.2011]. Допускается установка локальных осветительных приборов для освещения документов, но при условии, что они не производят бликов поверхности экрана, освещенность экрана и не увеличивается более чем 300 люкс. Местные огни должны иметь полупрозрачный отражатель, имеющие защитный угол не менее 40 градусов.

Поскольку источник света предпочтительно использовать с искусственным освещением и флуоресцентным ЛВ. Освещение должно выполняться в виде непрерывных или прерывистых линий светильников, расположенных со стороны рабочих станций, параллельно линии визирования пользователя в линейном расположении персональных компьютеров (ПК). Когда компьютеры расположены на периферии комнаты, легкие трубы должны быть размещены на столе в непосредственной близости от переднего края, оператор сталкивается.

Для того чтобы обеспечить нормированные значения яркости для курящих, контроллер газовой реакции должен чистить светильники не реже двух раз в год и своевременно заменять сгоревшие лампы аналогичными.

5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

В целях безопасности перед началом работы необходимо поставить право костюм, необходимые инструменты и принадлежности, готовые к работе, подготовить свой рабочий стол. Вы должны также проверить на наличие внешних повреждений электрооборудования, наличие и функционирование контрольно-измерительных и сигнальных устройств, компьютера, тумблеров, выключателей и т. д. Если обнаружена неисправность, то не разрешается выполнять, ремонтируйте себя, необходимо доложить руководителю лаборатории. Настройка прибора и его ремонт производятся только сервисными инженерами.

Кроме того, действия, прежде чем контроллер установки реакционного газа, целостность газовых баллонов необходимо проверить их прочность крепления и отсутствие утечки газа. Клапан и резьба должны быть в хорошем состоянии. Редуктор манометр должен проверить. Передачи эквивалентно газа в цилиндре.

Запрещается начинать работу, если обнаружено, что какое-либо оборудование неисправно, если закончился следующий осмотр цилиндра, срок испытания манометра истек, если персонал не прошел обучение и проверку знаний по безопасности в соответствии с установленный порядок.

Обработка установки Gas Reaction Controller должна быть свободна от пыли, паров, кислот и щелочей, проводят агрессивные газы и другие вредные вещества в чистой комнате, в результате чего коррозии. Не разрешается открывать огонь возле прибора.

После установки, вам нужно:

- Закрыть клапан баллона;
- Убедиться, что все клапаны закрыты;
- Выход из программы, выключить компьютер;
- Реакция контроллера и отключение подачи газа к насосу;
- Проверка целостности баллоны, фиксированный, без утечки газа.

5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Для работы на контроль газовых реакторов лиц в возрасте 18 лет, установка, последнее заявление о безопасности на рабочем месте, возможно, никаких медицинских противопоказаний.

Отдельным работникам разрешается работать самостоятельно после специальной подготовки и проверки знаний о норме и правилах работы с электроустановками, правилах безопасности при работе с газовыми баллонами, приобретенных навыках и безопасных способах выполнения работы на контроллере газовой реакции, не менее II группы электробезопасности и получение разрешения на работу с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний о нормах и правилах электробезопасности, правила безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками

не реже одного раза в 12 месяцев, повторная инструктаж на рабочем месте - не реже одного раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно быть сделано в Книге инструкций с установленной схемой с обязательными подписями лица, которое получило и выполнило инструкцию, указав дату инструкции, имя и номера инструкции для типов за работу, за которую дается инструкция.

По заданной теме обсуждаются законодательные и нормативные документы:

- инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller;
- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;

- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Проведение всех видов инструктажа должно быть сделано в Книге инструкций с установленной схемой с обязательными подписями лица, которое получило и выполнило инструкцию, указав дату инструкции, имя и номера инструкции для типов за работу, за которую дается инструкция.

В случае пожара немедленно прекратите работу, закройте газовый баллон, отсоедините электрооборудование, вызовите пожарную службу в 01 или 010, сообщите о случившемся менеджеру агрегата и начните тушение пожара с помощью первичного средства пожаротушения.

Если работник получил травму от электрического тока, обеспокоен как можно скорее решение электричество, проверить состояние жертвы и вызвать скорую помощь, если это необходимо. До прибытия скорой помощи предоставьте пострадавшему необходимую первую помощь или, в случае необходимости, организуйте доставку жертвы в ближайшее медицинское учреждение, сообщите начальнику структурного подразделения о произошедшем происшествии.

Другой вероятной чрезвычайной ситуации (ЧС), которые могут находиться в помещении с установкой газовой реакции контроллера - произошел пожар.

Предотвращение пожаров основано на устранении благоприятных условий воспламенения. В рамках четырех проблем решается пожарной безопасности: предотвращение пожаров и пожаров, локализация пожаров, защита людей и имущества, борьба с пожарами. Предотвращение возгорания достигается за счет исключения легко воспламеняющихся предметов и

источников воспламенения, а также для поддержания окружающей среды в условиях, которые препятствуют возгоранию.

В современном компьютере элементы электронных схем, расположенных в очень высокой плотности. Рядом друг с другом они соединены с проводами, кабелями коммутирующих электронных компонентов микросхемы. Когда через них протекает электрический ток, выделяется некоторое количество тепла, что может привести к повышению температуры до 80-100 ° С. В этом случае возможно расплавление изоляции и, как следствие, короткое замыкание, что сопровождается искрообразованием и приводит к недопустимым перегрузкам элементов чипа. Для удаления избыточного тепла в компьютере используйте внутренние вентиляторы.

Напряжение в электроустановках обеспечивается кабельными линиями, что также представляет особую опасность пожара. Технические характеристики процесса промышленных зданий и помещений пожароопасных, по которым решение.

Рассмотрел возникновение пожара в помещении определяется следующими факторами:

- Существуют легко воспламеняющиеся элементы: файл, двери, столы и т.д.;
- Кислород в качестве окислителя присутствует в процессе горения.

Огонь может произойти из-за следующего факторов:

- Электрическая проводка неисправности, розетки и выключатели могут привести к повреждению изоляции или короткое замыкание;
- Использование электроприборов поврежден;
- Электрическое нагревательное устройство используется в комнате с открытым нагревательным элементом;
- Молния ударила в здание;
- Неточное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

В соответствии с классификацией риска производства пожара (ППБ-03) используются в зависимости от характеристик при производстве веществ и их количества это число делится на несколько категорий А, В, С, D. Это число относится к категории В потому что горючие вещества и материалы в твердом состоянии без выброса пыли.

Для тушения пожара используются огненные стволы, внутренние пожарные водопроводные трубы, огнетушители и сухой песок.

Вода используется для тушения пожаров в помещениях программистов только в случае опасности повреждения или полного отказа дорогостоящего оборудования. В этом случае, если это возможно, необходимо защитить компьютеры от влаги.

Огнетушители широко используются для тушения пожаров на начальных стадиях. Поэтому в отделах с ПЭВМ используются, главным образом, углекислотные огнетушители, преимущество которых заключается в высокой эффективности тушения пожара и безопасности электронного оборудования.

Из-за диэлектрических свойств диоксида углерода эти огнетушители могут использоваться даже в том случае, если электрическая установка не может быть сразу отключена.

Во избежание возникновения пожара проводятся специальные семинары с работниками здания, где вы изучите основы преподавания пожарной безопасности и работы с первичной системой пожаротушения.

На рисунке 5.5.1 показан план эвакуации.

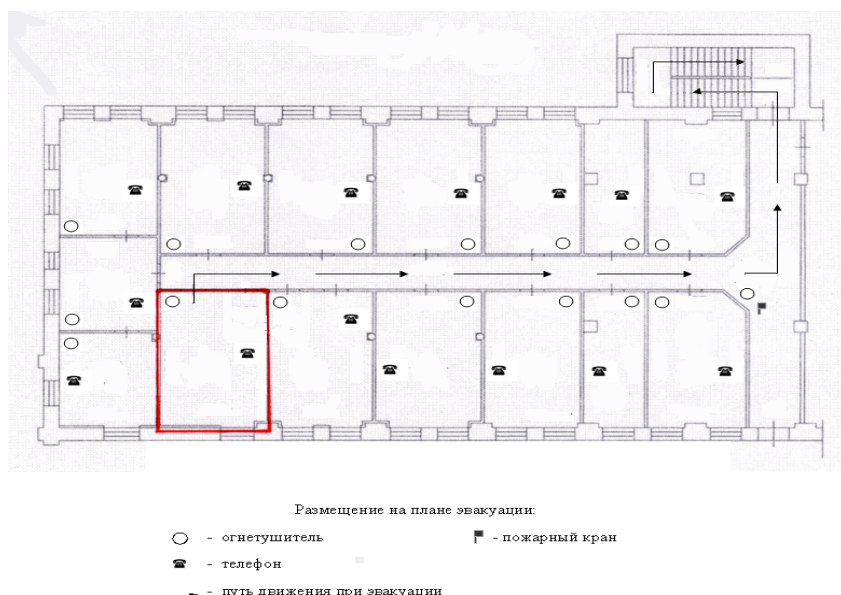


Рисунок 5.5.1. План эвакуации

5.6 Расчет воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных зданиях постоянное высвобождение вредных двуокиси углерода люди (CO_2) выдыхаются. Определение необходимого воздуха производится освобождено от количества углекислого газа человека и их допустимых концентраций.

Потребности вентиляции в жилых домах и общественных местах, определяется по формуле:

$$L = \frac{G}{x_{\text{в}} - x_{\text{н}}}, \quad (5.6.1)$$

При работе на установке наводороживания проведения люди работают.

Выделяемое количество CO_2 одним человеком = 23 л/ч.

Допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения (согласно ГОСТ 12.1.005-88) $x_{\text{в}} = 1 \text{ л/м}^3$.

Допустимая концентрация вредности в воздухе больших городов (ГН 2.1.6.1338-03) $x_{\text{н}} = 0,5 \text{ л/м}^3$.

Определим потребный воздухообмен для помещения по формуле (5.6.1):

$$L=23/(1-0,5)=46 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Вывод

Газ был идентифицирован Gas Reaction Controller, вредные и опасные факторы рабочей области при рассмотрении требований охраны и гигиены труда на выполнение работ по гидрирование с использованием установки, причины и средства аварийной ситуации и поведения видели в них. Расчет воздуха также был подготовлен на территории рабочей зоны с установкой реакционного газа-контроллер, в котором работает человек. Рассчитанный воздухообмен помещения равен 46 м³/ч.

Список использованных источников

1. Giulio Marchese, Additive manufacturing of titanium alloys in the biomedical field: processes, properties and applications/. Giulio Marchese, Alberta Aversa, Flaviana Calignano, Sara Biamino// - Received 2018. - p 60-62.
2. Antony K, Studies on energy penetration and marangoni effect during laser melting process/ Antony K, Arivazhagan N// J Eng Sci Technol. - Received October 2015. – p 509-525.
3. Facchini L, Microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V produced by electron beam melting of pre-alloyed powders/ Facchini L, Magalini E, Robotti P, Molinari A// - Received 2009. - p 171-178.
4. Gu D, Laser additive manufacturing of high-performance materials/ Gu D // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. - Received 2015. - p 9-10.
5. Krantz D, On-demand spares fabrication during space missions using laser direct metal deposition/ Krantz D, Nasla S, Byrne J, Rosenberger B// - Received 2001. – p 170-175.
6. Nikhil Kulkarni, A Review Paper on Techniques and Manufacturing Methods of 3D Printed Loudspeaker/ Nikhil Kulkarni, Ramesh S, Sujun Chakraborty, Anusha Ramesh// Vol. 2 Iss: 3. - Received August 2015. - p 8-12.
7. Ahsan MN, Porous structures fabrication by continuous and pulsed laser metal deposition for biomedical applications: modelling and experimental investigation/ Ahsan MN, Paul CP, Kukreja LM, Pinkerton AJ// J Mater Process Technol. - Received 2011. - p 602-609.
8. Gao SY, Research on laser direct deposition process of Ti-6Al-4V alloy/ Gao SY, Zhang YZ, Shi LK, Du BL, Xi MZ, Ji HZ// Acta Metall Sin (English Lett.). - Received 2007. - p 171-180.
9. D. Ding, Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests/ D. Ding, Z. Pan, D. Cuiuri, H. Li// International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - Received 2015. - p 465–481.

10. C. Artwood, Laser engineered net shaping (LENSTM): A tool for direct fabrication of metal parts/ C. Artwood, M. Griffith, L. Harwell// 17th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics, Orlando, USA. - Received 1998. - p 16–19.
11. Руюцов А. Н., Гидрирование титановых материалов/ Руюцов А. Н., Олесов Ю. Г., Антонова М. М// Наукова думка. – 1971.
12. Mueller W. M., Metal hydrides. – Elsevier/ Mueller W. M., Blackledge J. P., Libowitz G. G. // - Received 2013. - p 51-87.
13. Г.М. Полетаев, Исследование процессов абсорбции и диффузии водорода в ГЦК металлах методом молекулярной динамики/ Г.М. Полетаев// – 2014
14. Legostaeva, E. V., Nanostructured titanium: Structure, mechanical and electrochemical properties / Legostaeva, E. V., Egorkin, V. S., Sinebryukhov, S. L., Eroshenko, A. Y., Lyamina, G. V., Komarova, E. G.// - Received 2013. - p 44-53.
15. Интернет ресурс. Режим доступа: <https://libmetal.ru/titan/titan%20osnprop.htm> / – свободный
16. Petr Hruška, Jakub Čížek, Characterization of defects in titanium created by hydrogen charging/ Petr Hruška, Jakub Čížek, Jan Knapp, František Lukáč, Oksana Melikhova, Silvie Mašková, Ladislav Havela, Jan Drahekoupil // - International Journal of Hydrogen Energy. - Received 2017. - p 11-13.
17. Lumley RN, The effect of solubility and particle size on liquid phase sintering/ Lumley RN, Schaffer GB // - Received 1996. - p 89-95.
18. Lumley RN, The effect of additive particle size on the mechanical properties of sintered aluminium-copper alloys/ Lumley RN, Schaffer GB // - Received 1998. - p 89-94.
19. Olakanmi EO, Direct selective laser sintering of aluminium alloy powders/ Olakanmi EO // PhD thesis, University of Leeds, Leeds. - Received 2008. - p 11-13.
20. Das S, Physical aspects of process control in selective laser sintering of metals/ Das S // Adv Eng Mater. - Received 2003. - p 701.

21. G. Levy, Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing Technologies/ G. Levy, R. Schindel, J.-P. Kruth // - Received August 2003. - p 52-54.
22. G. Zong, Direct Selective Laser Sintering of High Temperature Materials/ G. Zong, Y. Wu, N. Tran, Lee, D. L. Bourell, J. Beaman, and H. L. Marcus // - Received August 1992.- p 72-74.
23. L. Dong, Finite element simulations of temperature distribution and of densification of a titanium powder during metal laser sintering/ L. Dong, J.P.M. Correia, N. Barth, S. Ahzi // - Received 16 May 2016. - p.37–48.
24. D King, Selective laser sintering injection tooling", "Journal of Materials Processing Technology/ D King, T Tansey // Vol.132, Iss:1–3. - Received 10 January 2003. – p 42–48.
25. RH Morgan, Selective laser sintering: a qualitative and objective approach/ RH Morgan // Vol. 55, Iss: 10. - Received October 2003. - p 43–47.
26. M. Schmidt , Selective Laser Sintering of PEEK/ D. Pohle , T. Rechtenwald // Vol. 56, Iss:1. - Received 14 June 2007. – p 205-208.
27. Sunil Kumar Tiwari, Selection of selective laser sintering materials for different applications/ Sunil Kumar Tiwari, Sarang Pande, Sanat Agrawal, Santosh M. Bobade // Vol. 21 Iss: 6. - Received June 1995. – p 630 – 648.
28. Deckard, C, Method and apparatus for producing parts by selective sintering/ Deckard, C // - Received October 17, 1986. – p 2 – 4.
29. J.P. Kruth, Research article Lasers and materials in selective laser sintering/ J.P. Kruth, X. Wang, T. Laoui and L. Froyen // Vol. 23 Iss 4. - Received January 2003. – p 357 – 371.
30. K.H. Tan, Scaffold development using selective laser sintering of polyetheretherketone–hydroxyapatite biocomposite blends/ K.H. Tan, C.K. Chua, K.F. Leong, C.M. Cheah, P. Cheang, M.S. Abu Bakar, S.W. Cha // - Received 27 November 2002 . – p 3116 – 3121.

31. Ian Gibson, Material properties and fabrication parameters in selective laser sintering process/ Ian Gibson, Dongping Shi // Vol. 3 Iss: 4. - Received Journal 1997. – p 129 – 136.
32. Congqin Ning, Correlations between the in vitro and in vivo bioactivity of the Ti/HA composites fabricated by a powder metallurgy method/ Congqin Ning, Yu Zhou // - Received 19 October 2007. – p 2 –10.
33. Eckart Uhlmann, Additive manufacturing of titanium alloy for aircraft components/ Eckart Uhlmann, Robert Kersting, Tiago Borsoi Kleina, Marcio Fernando Cruzb, Anderson Vicente Borillec // - Received February 2015. – p 55 – 60.
34. F.H. Froes, Titanium Technology: Present Status and Future Trends/ F.H. Froes, D. Eylon, H. Bomberger // Vol. 216, Iss: 1–2. - Received June 2003. - p.47–62.
35. V. Madina, Compatibility of materials with hydrogen/ V. Madina, I. Azkarate // Vol. 34, Iss: 14. - Received July 2009. – p 5976–5980.
36. Broom D.P., Accuracy in hydrogen sorption measurements/ Broom D.P., Moretto P // Journal Alloys and Compounds. - Received 2007. – p 687–691.
37. В. Н. Кудияров, Изучение влияния ионизирующего излучения на перераспределение водорода в титановом сплаве ВТ1-0/ В. Н. Кудияров // - 15с.
38. А.М. Лидер, Изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP. – Фундаментальные исследования №10, 2013/ В.Н. Кудияров, А.М. Лидер // - 3466-3468с.
39. Горбоконенко В.Д., Метрология в вопросах и ответах/ Шикина В.Е, Горбоконенко В.Д. // Ульяновск: УлГТУ. - 2005. - 196 с.
40. Кунце Х.-И., Методы физических измерений: Пер. с нем/ Кунце Х.-И // - 1989. - 216 с.